

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS VI

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES
NATURELLES

par

Claude BOBIER

CONTRIBUTION DU PALÉOMAGNÉTISME A L'ÉTUDE GÉODYNAMIQUE DES VOLCANS DU MASSIF CENTRAL FRANÇAIS, D'ALGÈRE NORD ORIENTALE ET DU MEXIQUE

Soutenue le 2 Octobre 1971 devant la Commission d'examen

MM. L. GLANCEAUD

Président

E. THELLIER

J. HILLY

A. ROCHE

}

Examineurs

N° Enregistrement
C.N.R.S.
AD 5082

THESE

présentée

à l'UNIVERSITÉ DE PARIS VI

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR EN SCIENCES
NATURELLES

par

Claude BOBIE

Digitized by the Internet Archive
in 2026

CONTRIBUTION AU PALÉOMAGNETISME A L'ETUDE GÉODYNAMIQUE
DES ZONES DU MASSIF CENTRAL FRANÇAIS,
TRANSSECTEUR ORIENTALE ET DU MEXIQUE

Soutenue le 2 Octobre 1971 devant la Commission d'examen

M. L. GLANGEAUD

Président

E. THELLIER

J. HILLY

A. ROCHE

Examineurs

https://archive.org/details/IA41553006_0029

TOME 2

T H È S E

présentée

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS VI

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES
NATURELLES

par

Claude BOBIER

CONTRIBUTION DU PALÉOMAGNÉTISME A L'ÉTUDE GÉODYNAMIQUE DES VOLCANS DU MASSIF CENTRAL FRANÇAIS, D'ALGÈRIE NORD ORIENTALE ET DU MEXIQUE

Soutenue le 2 Octobre 1971 devant la Commission d'examen

MM. L. GLANGEAUD

Président

E. THELLIER

J. HILLY

A. ROCHE

} Examineurs

UNIVERSITY OF
LEIDEN
LIBRARY

THESE

PROPOSÉES

A L'UNIVERSITÉ DE LEIDE

PAR

LE DOCTEUR EN MÉDECINE

LEONARDUS

CLAUDE BOBIE

CONTRIBUTION AU PATRIMOINE AGRICOLE
DES VILLES DE BRUXELLES ET DE LUXEMBOURG
PAR M. BOBIE



Acquired by the University of Leiden from the collection of the

LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF LEIDEN
LEIDEN, HOLLAND

TOME 3

CHAPITRE III.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DU BASSIN MEDITERRANEEN AU TERTIAIRE.

(Comparaison des données magnétiques et océanographiques).

INTRODUCTION :

Pour analyser les possibilités qu'offre la méthode paléomagnétique dans la mise au point de corrélations entre les édifices volcaniques distants de plusieurs centaines de kilomètres, il nous a paru intéressant de voir s'il était possible de replacer dans un ensemble cohérent une partie des complexes volcaniques tertiaires qui truffent le pourtour de la Méditerranée occidentale (Sardaigne, Nord Constantinois,). Mais, s'agissant de formations volcaniques appartenant à des blocs continentaux séparés et pris dans l'ensemble des mouvements tectoniques qui ont affecté le bassin méditerranéen, nous serons amenés à envisager le problème des dérives continentales. Le paléomagnétisme a apporté en effet, depuis un certain nombre d'années, des arguments solides à l'histoire des dérives continentales : arguments directs mais aussi indirects. Il ne faut pas oublier que les premières interprétations des anomalies magnétiques linéaires jalonnant les rides intra-océaniques étaient basées sur l'échelle des inversions mises en évidence par COX et DOELL.

Nous ne discuterons pas du problème de la dérive continentale dans son ensemble. Mais, à l'aide de certaines mesures magnétiques que nous avons réalisées en Algérie et en Sardaigne, nous allons tempérer les conclusions de certains auteurs relatives aux déplacements des blocs intra et péri-méditerranéens.

Pour étayer notre discussion il nous a paru opportun

1°) de comparer les directions d'aimantation obtenues à partir de blocs séparés avec ceux obtenus sur des roches de même âge mais appartenant à un bloc continental unique et si possible prélevées sur une surface limitée où le champ géomagnétique peut être considéré comme homogène*. Nous utiliserons pour ce dernier point certaines données magnétiques que nous avons obtenues au Mexique.

2°) de tenir compte de certaines données sur la structure

* champ homogène signifie que, à une époque donnée, les caractéristiques du champ varient peu d'un point à l'autre de la surface considérée, les variations n'étant dues qu'au jeu des anomalies locales.

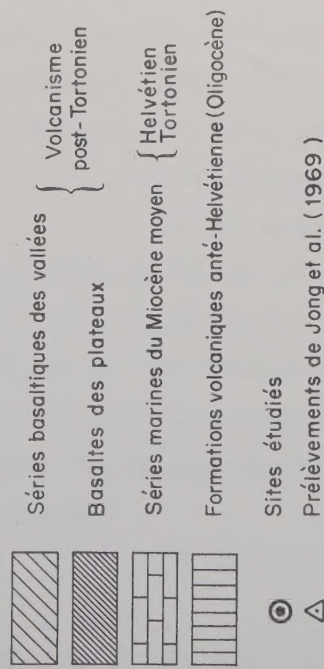
du fond de la Méditerranée que nous avons pu recueillir lors des campagnes océanographiques exécutées sous la direction du Professeur GLANGEAUD, auxquelles nous avons participé : Campagne GEOMEDE I (1966), GIBRALTAR II (1967), AMAZONE (1968), GEOMEDE III (1970).

Nous aborderons donc successivement :

- 1) Les données paléomagnétiques
- 2) Les données océanographiques
- 3) Les conclusions que nous pouvons tirer de ces deux catégories d'informations.

SCHEMA GEOLOGIQUE DE LA REGION ETUDIEE AVEC LIEUX DE PRELEVEMENTS

(D'après la carte géologique Bonorva n° 193 au 1/100.000)



DONNEES PALEOMAGNETIQUES RECUEILLIES DANS LE DOMAINE MEDITERRANEEN.

LA SARDAIGNE

Grâce à l'amabilité de C. COULON, Assistant à la Faculté des Sciences de Marseille, nous avons pu effectuer un certain nombre de mesures paléomagnétiques sur des laves du Logudoro (Sardaigne septentrionale). Cette étude a fait l'objet d'une publication (C. BOBIER, C. COULON, 1970). Nous reprendrons l'essentiel de ce travail que nous complétons actuellement (une nouvelle campagne de prélèvements a eu lieu en 1970). Il prolonge une étude récente poursuivie dans la même région (DE JONG et al. 1969), comme le montre la carte (fig. 143) où sont portés les points de prélèvements.

Du point de vue géologiques, les formations appartiennent à deux cycles volcaniques distincts, séparés par la transgression marine de l'Helvétien et du Tortonien (Bibliographie in. C. BOBIER et C. COULON, 1970).

DE JONG et al (1969) ont montré l'existence, dans les nappes ignimbrtiques, entre Alghero et Villanova Monteleone, de niveaux alternativement normaux et inverses. De plus, dans les horizons normaux, les directions qu'ils ont obtenues permettent de penser que la mise en place des laves a dû se faire par phases successives relativement brèves (quelques années) séparées par des périodes de repos de durée inconnue.

De telles "pulsations", classiques dans les zones d'activité volcanique, expliquent en effet très bien que les coulées superposées 2 et 3 des auteurs précédents aient des directions d'aimantation proches l'une de l'autre (fig. 144) mais que cette direction diverge nettement de celles mesurées sur les coulées 1 et 4 qui les encadrent. Le paléomagnétisme apporte donc ici des argu-

DIRECTIONS MOYENNES DES AIMANTATIONS DE SARDAIGNE.

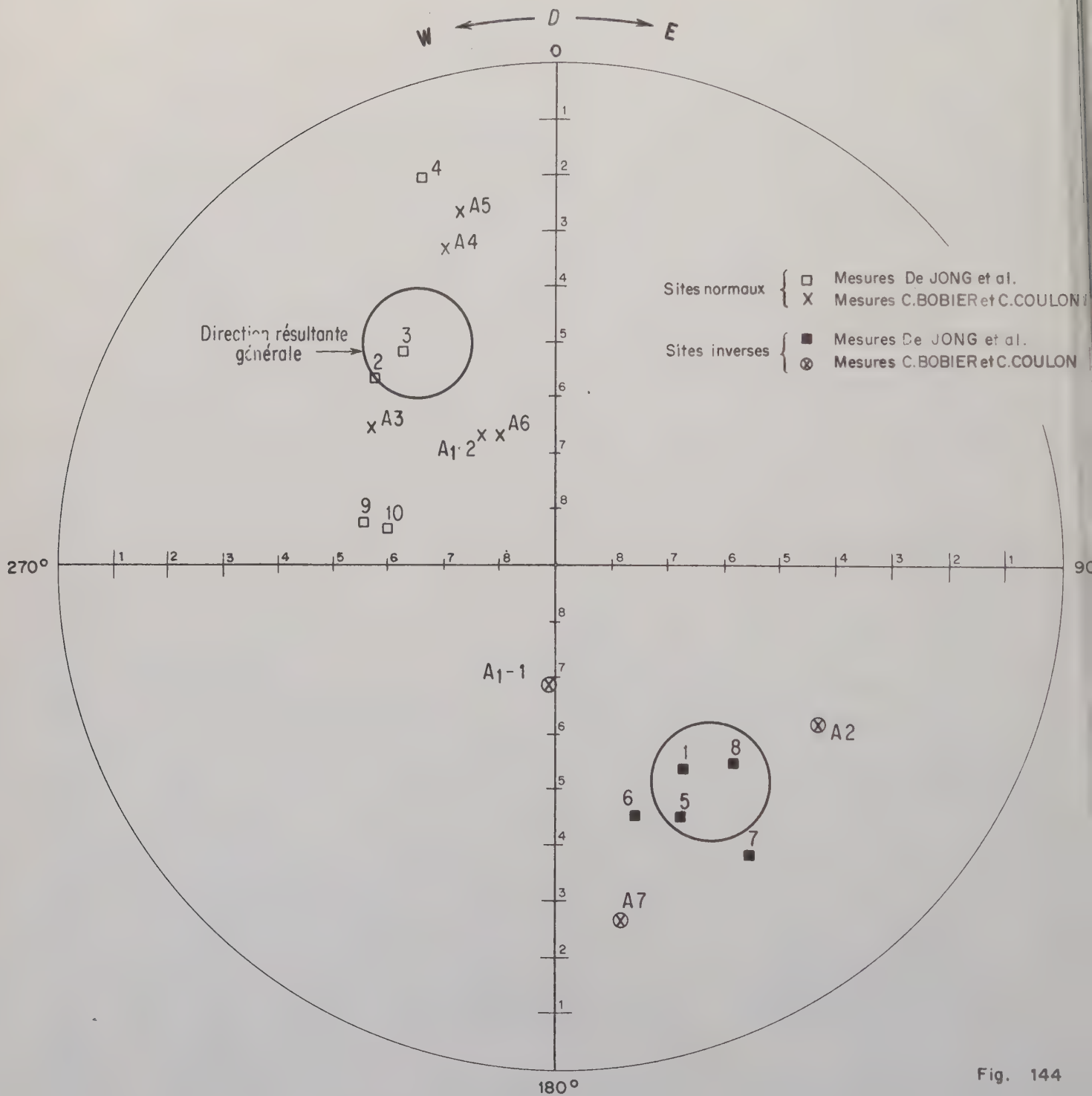


Fig. 144

ments favorables à l'existence d'un rythme dans l'activité volcanique. La question que nous devons nous poser est alors celle-ci : Le rythme qui paraît probable est-il général sur l'ensemble de la région ? En particulier peut-on le retrouver entre ROMANA et THIESI ou BONORVA.

Notre première campagne de prélèvements, effectuée en Avril 1969 avant que nous ayons eu connaissance des résultats de DE JONG et al, avait été conçue comme une étude préalable des "qualités magnétiques" des laves.

Il s'agissait pour nous de reconnaître si le paléomagnétisme pouvait permettre soit d'apporter des arguments en faveur d'hypothèses émises d'après les observations géologiques, soit permettre d'envisager d'autres interprétations. Une telle étude préalable avait donc pour but de répondre aux questions suivantes :

- 1°) Parmi les roches de la région existe-t-il un matériel qui permette d'envisager une étude paléomagnétique sérieuse.
- 2°) Si oui lequel ? Quel problème peut-il permettre de résoudre ? Quelle hypothèse permet-il d'ores et déjà d'envisager ?
- 3°) En conséquence, quels sont les prélèvements que nous devons exécuter (nombre, implantation, ...etc)

Dans ce cadre, un nombre limité d'échantillons par site est justifié. Par contre il convient d'étudier tout le matériel disponible. Appliquée à la Sardaigne, cette conception nous a conduit à nous intéresser aux deux cycles volcaniques et dans chaque cycle à chaque type de formation.

Le nombre limité d'échantillons prélevés par site ne nous permettra pas de répondre convenablement à la questions que nous venons de poser en conclusion des travaux de DE JONG et al. Néanmoins nous pourrons peut-être apporter des éléments à la discussion ouverte.

NATURE(1)	NUMERO			PRÉLEVÉS	ÉTUDIÉS	B	R	K	ω	α_{95}	POLAR
SERIE ANDESITIQUE $\alpha (\alpha_1?)$	A 1.1	- 68° 30	178° 30 W	2	2	1	1, 936	16			
	A 1.2	+ 63°	30° W	1	1	1	1	0			
$\alpha (\alpha_1?)$	RA 1	+ 66° 30	16° W	3	3	2	1, 985	16			+
τ_1	A 2	- 35° 30	120° 30 E	3	3	1	2, 996	491		5° 30	-
SERIE ANDESITIQUE $\alpha (\alpha_2?)$	A 3.1	+ 37° 30	4° E	2	2	1	1, 419	2			
	A 3.2	+ 31°	103° 30 W	3	3	1	2, 930	29		23° 30	
α	R A 3	+ 49°	53° W	5	5	2	1, 490	5	3	62°	+
τ_2	A 4	+ 29° 30	18° 30 W	3	3	1	2, 855	14		34° 30	+
τ_3	A 5.1	+ 26° 30	3° E	3	3	1	2, 992	242		8°	
τ_3	A 5.2	+ 20° 30	32° 30 W	3	3	1	2, 937	32		22° 30	
τ_3	R A 5	+ 24° 30	15° W	6	6	2	1, 913	56	15	28°	+
$\tau'_3 (2)$	A 6	+ 64° 30	23° W	3	2	1	1, 991	107			+
α_3	A 71	- 39° 30	159° E	3	3	1	2, 952	42		19°	
α_3	A 72	- 11°	177° E	3	3	1	2, 640	5		58°	
α_3	R A 7	- 25° 30	169° E	6	6	2	1, 921	10	22	28°	-
RESULTANTE		+ 43° 30	24° 30 W	29	28	11	9, 607	13	10	18°	+
RESULTANTE d'après DE JONG et AL. (1969)		+ 42°	38° 30 W		59	10	9, 544	168	12	13°	+
RESULTANTE TOTALE		+ 43°	31° 30 W		87	21	19, 090	40	11	10°	+

β_1	B 1	+ 40° 30	138° W	3	2 (3)	1	1, 981	54			+
β_1	B 2	+ 56° 30	14° 30 E	3	2	1	1, 996	225			+
β_1	B 31	+ 52° 30	6° 30 W	3	3	1	2, 998	952		4°	
β_1	B 32	+ 49° 30	12° 30 W	3	3	1	2, 993	283		7° 30	
	R B 3	+ 51°	9° 30 W	6	6	2	1, 998	436	885	4° 30	+
RESULTANTE β_1		+ 66°	25° 30 W	12	10	4	3, 320	185	5	31°	+
β_2	B 4	+ 46° 30	0° W	3	3	1	2, 990	211		8° 30	+
β_2	B 5	+ 71° 30	60° 30 W	3	3	1	2, 871	16		23° 30	+
β_2	B 6	+ 46° 30	4° 30 W	3	3	1	2, 995	376		6° 30	+
β_2	B 7	+ 41°	9° W	3	3	1	2, 932	29		22°	+
RESULTANTE β_2		+ 53°	7° W	12	12	4	3, 837	38	23	16°	+
RESULTANTE ($\beta_1 + \beta_2$)		+ 59°	16° 30 W	24	22	8	7, 096	57	10	16°	+
RESULTANTE ($\beta_1 + \beta_2$)		+ 48°	38° 30 W		17	2	5, 221	111			

Nous allons auparavant évoquer les résultats que nous avons obtenus.

1°) LE CYCLE ANTE-HELVETIEN :

Marqué par deux épisodes ignimbritiques importants, il est très varié du point de vue pétrographique. On y rencontre des laves qui vont des andésites aux rhyolites, mais les basaltes sont absents. Son âge est fixé à l'Oligocène et au début du Miocène (DERIU, 1968). Ces formations seraient donc en partie comparables aux venues éruptives qui ont vu le jour en Limagne et dont ROCHE (1958, 1963) a étudié les caractères magnétiques.

Nos résultats paléomagnétiques sont consignés dans le tableau (V). Sur le diagramme de la figure 144, nous avons porté la direction moyenne d'aimantation de chacun des sites étudiés. L'examen de ces résultats attire un certain nombre de remarques:

a) Le groupe des Trachytes (Sites A_4 A_5 A_6)

Les formations T_3 (Sites A_{5-1} et A_{5-2}) présentent des directions d'aimantation assez proches l'une de l'autre. Or les observations géologiques (pétrographie et volcanologie) de C. COULON montraient une étroite parenté. Cet ensemble d'informations permet donc de penser que les éruptions correspondantes sont rapprochées dans le temps et de calculer une direction moyenne d'aimantation RA_5 . Cette direction caractéristique ne correspond pas à celle d'un dipôle mais représente là direction du champ local pendant une époque courte (quelques dizaines d'années).

Par contre pour le site A_4 seul le sens normal de l'aimantation donne une indication valable. La direction de l'aimantation, très mal définie, n'apporte aucun argument pour distinguer ce site des autres formations trachytiques.

La direction calculée pour le site A_6 , si elle doit être prise avec réserve, semble cependant appor-

porter un argument en faveur de la distinction introduite par d'autres méthodes entre un groupe τ_3 (sites A_5) et un groupe τ'_3 (site A_6).

Un plus grand nombre de prélèvements serait nécessaire pour consolider cet argument.

- b) Les directions d'aimantation des séries "andésitiques" (sites A_{1-1} ; A_{1-2} ; A_{3-1} ; A_{3-2} ; A_{7-1} ; A_{7-2})

Elles ne donnent aucune indication pour différencier des groupes car elles sont beaucoup trop dispersées. Nous avons, comme exemple, calculé la résultante R_3 du groupe constitué par les sites A_{3-1} et A_{3-2} . Ce calcul montre la dispersion des résultats dans ce qui paraît être une unité volcanologique. D'autres mesures sont indispensables pour essayer de discerner un ordre dans l'ensemble des "andésites" qui semble recouvrir plusieurs phases magmatiques. Toutefois l'aimantation inverse des andésites α_3 révèle l'existence probable d'une troisième période de champ géomagnétique inverse s'ajoutant aux deux déjà mises en évidence par DE JONG et al.

- c) Comparaison des résultats à l'échelle de la région BONORVA - ALGHERO. Les laves anté-helvétiques semblent recouvrir cinq périodes géomagnétiques. En partant de la base on aurait la succession suivante :

- 1 - Aimantation inverse
- 2 - Aimantation normale
- 3 - Aimantation inverse
- 4 - Aimantation normale
- 5 - Aimantation inverse

Les données géomorphologiques tendent à assimiler l'ensemble ignimbrétique τ_1 (site A_2) aux coulées (5 et 7) étudiées par DE JONG et al., tandis que le

second ensemble ignimbrétique τ_2 (site A₄) correspondrait aux coulées 9 et 10 des mêmes auteurs. Le sens de l'aimantation apporte un argument en faveur de cette interprétation.

Si nous considérons maintenant la direction de l'aimantation nous voyons que si celles des sites A2, 5 et 7 correspondent assez bien, celle du site A4, bien qu'incertaine, diverge nettement de celle qui caractérise les sites 9 et 10. Nous avons là une illustration très claire des difficultés rencontrées lorsqu'on veut utiliser la direction de l'aimantation pour définir des corrélations. En ne tenant compte que du sens de l'aimantation, le paléomagnétisme apporte un argument (pas une preuve) en faveur dans notre cas (contraire dans l'autre) d'une hypothèse sur les corrélations relativement fines à l'échelle d'un massif ancien. L'utilisation de la direction d'aimantation, quant à elle, doit toujours être accompagnée d'une étude détaillée de la volcanologie. Dans le cas présent nous comparons des directions d'aimantation de laves appartenant à des époques de champ normal différentes. La variation séculaire n'est pas forcément la même d'une époque à l'autre et de ce fait les comparaisons de direction n'ont pas de sens car on ne peut comparer que des choses comparables. Ce qui dans le massif du Sancy ou à Alghero dans une série ~~verti-~~cale pouvait être considéré comme un indice sérieux, n'a ici aucune valeur.

Par contre la comparaison des directions d'aimantation que nous venons de faire montre bien que celles obtenues par l'équipe hollandaise dans chaque époque normale n'est pas caractéristique de cette époque. Du

point de vue volcanologique nous pouvons cependant noter que le paléomagnétisme permet de penser, et cela en accord avec les observations géologiques, que entre ROMANA et BONORVA, l'activité volcanique est peut-être moins discontinue que vers Alghero où l'on ne rencontre que les nappes qui correspondent aux phases majeures de l'activité. En conséquence la direction du champ moyen correspondant au cycle anté-helvétien doit être déterminée en tenant compte des directions observées dans cette zone.

Mais nous reviendrons sur la signification de la moyenne générale des directions des laves anté-helvétiques de Sardaigne dans la conclusion de ce chapitre.

La succession des aimantations inverses et normales trouvée en Sardaigne permet-elle de définir l'âge des laves émises ?

En 1965, NAIRN a donné le tableau suivant de l'échelle des inversions (N : aimantation normale, R : aimantation inverse).

	N ₄
Tortonien	
Vindobonien	R ₄
Helvétien	N ₅
	R ₅
Burdigalien 25 ou 26 MA.	N ₆
	R ₆ ?

Compte-tenu des travaux de DERIU (op. cité), nos résultats permettraient de situer les laves anté-helvétiques sardes dans les périodes R_6 ? N_6 R_5 N_5 et R_4 .

Mais ce n'est là qu'une approximation car ce tableau est certainement très incomplet. De plus, l'âge des niveaux ainsi définis est incertain comme l'est celui de nos laves.

Par ailleurs, des études complémentaires sont nécessaires pour connaître les caractères magnétiques des andésites qui semblent recouvrir plusieurs phases magmatiques.

Il apparaît aussi très clairement que si une analyse série de la direction d'aimantation des laves anté-helvétiques sardes peut contribuer à l'établissement de leur chronologie relative, le paléomagnétisme est incapable d'apporter un élément solide à la détermination de leur âge au moins dans l'état actuel des connaissances.

2°) LE CYCLE POST-TORTONNIEN :

Il est exclusivement basaltique. Les caractères magnétiques des laves appartenant à ce cycle présentent une cohérence remarquable. La direction moyenne de l'aimantation est voisine de celle du champ correspondant à un dipôle géocentrique voisin de l'axe de rotation terrestre. Ces formations appartiennent à deux périodes d'activité séparées par une période de creusement intense. Leur âge s'étend du Pontien au Quaternaire (JACOBACCI, 1962).

Dans le Logoduro nous ne trouvons pas d'aimantations inverses. Toutefois, celles-ci existent en Sardaigne comme l'ont montré K.A. de JONG et M. MANZONI (1968) près de Orosei.

S'appuyant sur la stratigraphie établie par I. DIENI et F. MASSARI (1966) qui considèrent que les basaltes de Orosei se

sont mis en place pendant la période glaciaire de Mindel, DE JONG et MANZONI considèrent que le Mindel se situerait à la fin de l'époque Matuyama, Le Gunz III se situant au voisinage de la période de Jaramillo. Ces résultats recoupent ceux que nous avons obtenus dans le massif du Sancy.

Mais le paléomagnétisme seul ne permet pas ici, de séparer les différentes phases du volcanisme basaltique encore moins d'en définir la chronologie relative ou absolue.

LE LITTORAL NORD CONSTANTINOIS.-

Entre 1966 et 1969, nous avons pu, dans le cadre de la RCP N° 16, aborder l'étude paléomagnétique des roches éruptives et volcaniques du Nord-Est algérien entre Bejaïa (ex Bougie) et Annaba (ex Bône).

Une importante partie des formations étudiées est constituée par des intrusions grenues ou microgrenues de nature dioritique ou rhyodacitique. Pour le reste, à côté de coulées et de brèches d'andésites il faut signaler des dykes et des coulées de rhyolites. Nous allons évoquer rapidement les différents ensembles étudiés et les résultats obtenus.

A. LACROIX (1924-1927), L. GLANGEAUD (1929-1932) M. ROUBAULT (1934-1935) et J. HILLY (1957) ont souligné les analogies profondes qui existent entre les différents massifs ignés de la zone littorale algéro-tunisienne (analogies que précisent les travaux poursuivis dans le cadre de la RCP). Il était intéressant d'étudier les caractères magnétiques des roches de cet ensemble.

Notre étude a porté sur un total de 400 échantillons prélevés en septembre 1966. Nous tiendrons compte aussi de l'étude complémentaire réalisée par C. ROBIN dans le Massif de Cavallo. Nous allons évoquer successivement :

- 1°) La région comprise entre le Cap Takouch et le Cap de Fer.
- 2°) La Kabylie de Collo et le Massif de Cavallo.

I) DU CAP TAKOUCH AU CAP DE FER.

L'étude géologique la plus complète de cette zone a été réalisée par J. HILLY (1957). Nous évoquerons ici les caractères des formations volcaniques et des sédiments qui y sont associés

en reprenant les termes de sa conclusion (J. HILLY, 1957, pp. 388-389).

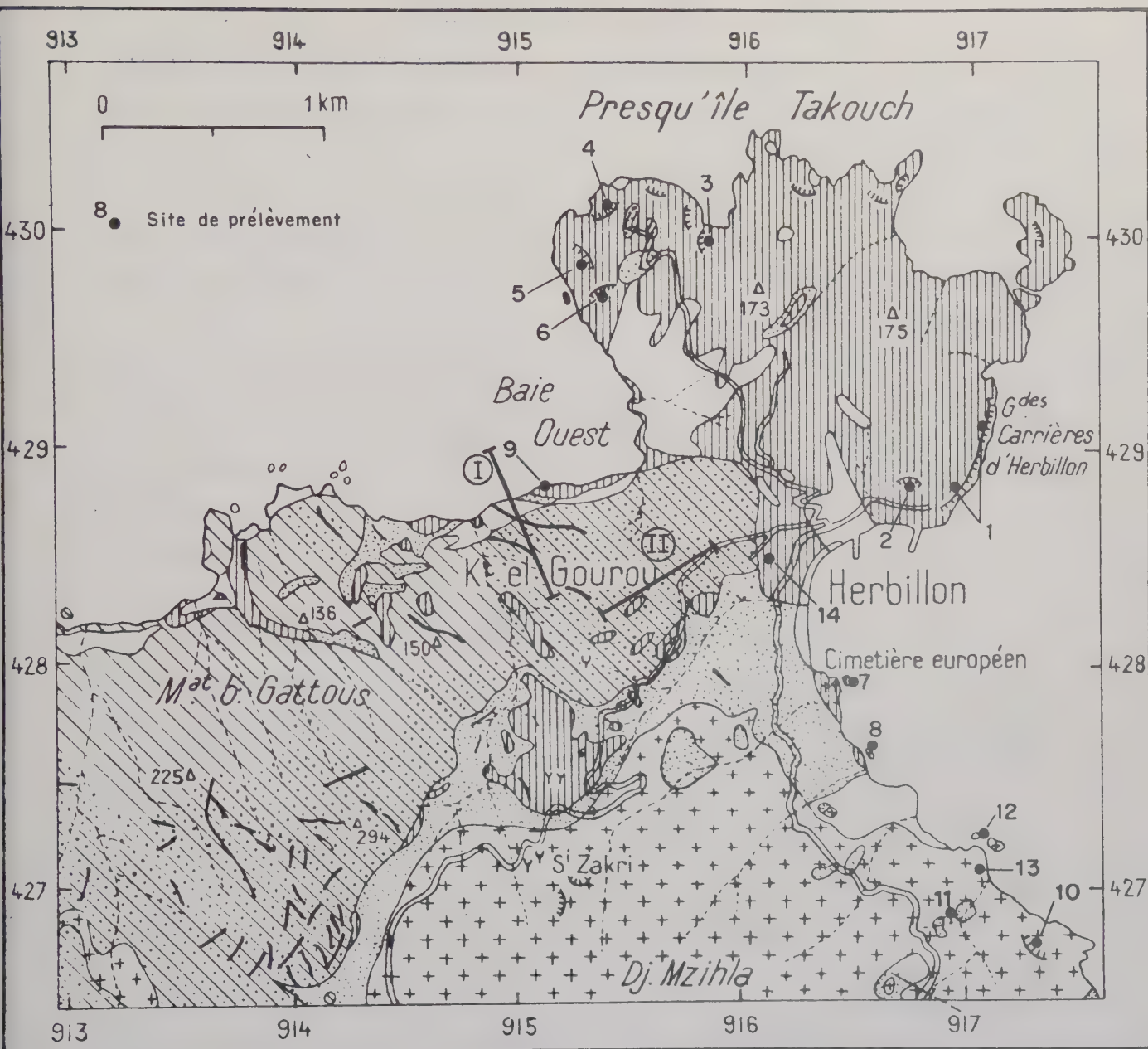
"Une nouvelle phase orogénique provoque à la fin de l'Oligocène l'émersion totale de la région.... au Burdigalien, une transgression limitée s'étend sur la partie septentrionale du Cap de Fer. Les sédiments miocènes trahissent, par la fréquence des niveaux grossièrement détritiques, la proximité d'un rivage et d'un arrière pays très accidenté situés au Nord..... Tandis que l'érosion attaque violemment ces reliefs, les premières manifestations volcaniques se produisent. Elles débutent dans le Massif du Cap de Fer par quelques coulées andésitiques, vraisemblablement sous-marines, accompagnées de tufs : elles sont interstratifiées dans le Burdigalien. Puis l'activité volcanique s'intensifie.... De cette époque datent les coulées, les brèches et les tufs de faciès andésitique si répandus dans la région ainsi que quelques venues plus acides. Les niveaux sédimentaires marins y sont rares. Puis, du Cap de Fer à la bordure NW du Massif de l'Edough, diorites, gabbros et micro-granites se mettent successivement en place, ces derniers prenant par endroits une allure franchement effusive. La série s'achève un peu plus tard avec des filons andésitiques, entre le Cap de Fer et le Cap Takouch.

.... Dans le Nord du Massif du Cap de Fer.... toutes les roches, y compris les filons éruptifs les plus récents, ont subi des transformations secondaires : silicification (opale, calcédoine et quartz) développement de silicates (Feldspaths, pyroxène, chlorites, épidotes, zéolites) et minéralisation (Blende, chalcoppyrite et galène). Ce sont là les ultimes manifestations du volcanisme ... il semble logique d'admettre qu'elles ont suivi de peu, voire accompagné en partie, les dernières venues rhyolitiques et andésitiques et qu'elles se situent dans le cours du Miocène".

L'extension en mer des formations intrusives a été précisée grâce à la mission AMAZONE (1968) (J.M. AUZENDE, 1969).

Pour les études magnétiques, nous n'avons pas pu analyser la totalité des formations qui viennent d'être évoquées, mais nous avons essayé d'étudier tous les types de formation. Pour exposer nos résultats, nous allons considérer deux zones :

- La région de Chaïtabi (ex Herbillon) à l'Est. (Fig: 145)
- La région du Cap de Fer (s. stricto) à l'Ouest. (Fig: 163)



- | | |
|--|---|
|  Quaternaire ("grès" et éboulis) |  Diorites et microdiorites |
|  Andésites filoniennes |  1. Andésites massives burdigaliennes
2. Coulés et formations pyroclastiques burdigaliennes |
|  Microgranite II |  Sédiments burdigaliens |

— Carte géologique de la région d'Herbillon (d'après J. HILLY 1957)

1) La région d'Herbillon Chaïtabi :

La carte géologique de la figure 145 donne la structure géologique de l'ensemble et la position des prélèvements que nous avons effectués.

a) Groupe andésitique :

Il comporte à la base des coulées interstratifiées dans les sédiments burdigaliens et des formations pyroclastiques importantes qui forment l'essentiel du Kef el Gourou.

Etant donné les déformations tectoniques subies par les formations andésitiques, nous avons exécuté deux séries de prélèvements dans les zones les moins perturbées du massif.

Coupe II : le long de la piste passant près du Château d'eau d'Herbillon (série H 13, pro parte).

Coupe I : sur le flanc septentrional du Kef el Gourou (série H 8, pro parte).

Les résultats sont, également, très décevants. En effet les aimantations visqueuses jouent un rôle prédominant dans la plupart des échantillons. Nous avons consigné dans le tableau (VI) les directions d'aimantation que nous avons obtenues.

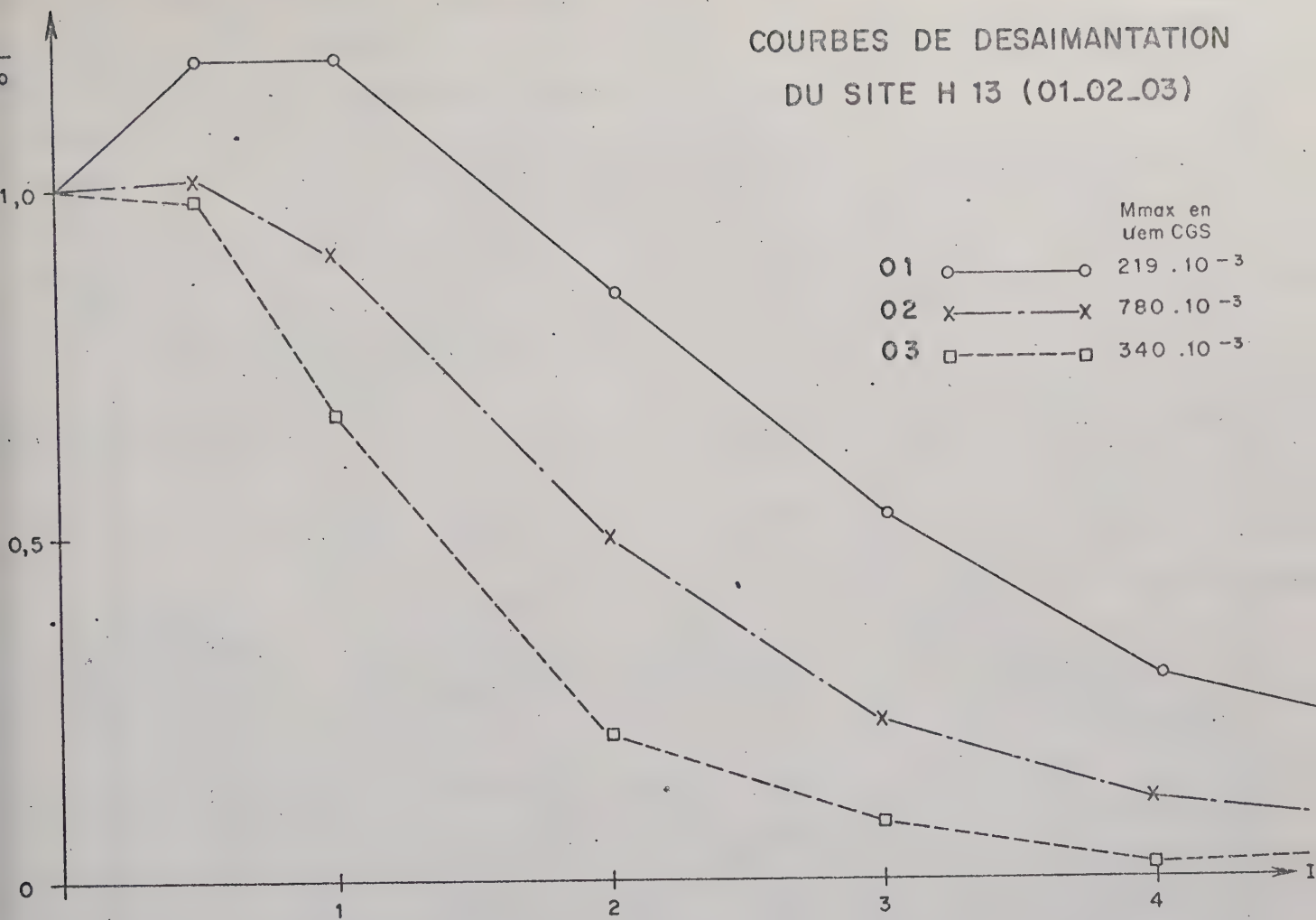
Nous allons maintenant discuter rapidement de la signification des valeurs ainsi définies.

SERIE H 13 : Lot 1 - 2 - 3 (fig. 146).

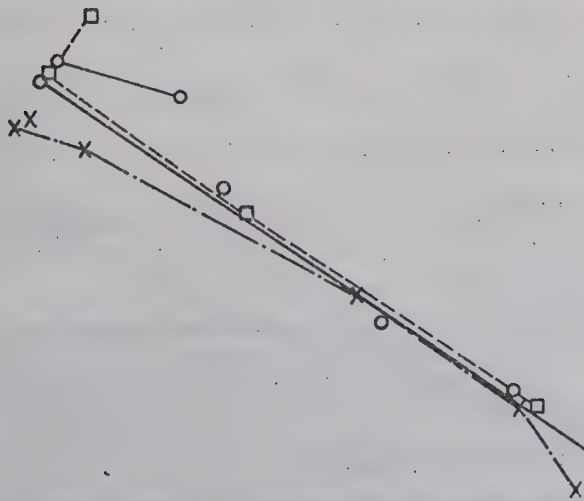
Il correspond à la coulée interstratifiée dans les sédiments burdigaliens, qui affleure 50 mètres au Nord du Château d'eau d'Herbillon.

Les échantillons 01 et 02 présentent une ARV importante mais l'aimantation obtenue après action de champs de 600 et 800 Oe est stable, comme le montre le tableau suivant (page 502)

COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H 13 (01_02_03)



1 $\frac{H}{M_{max}}$



Site	Série	B	N _P	N _m	I _R	R	D _R	Roche	k	α_{95}
1	H ₇ (1-12)	1	12	8	-74°30	7,14	115°E.	} micro- diorite à faciès volcanique	8	20°30
2	H ₇ (13-18)	1	6	4	-16°30	3,42	104°E		5	
3	H ₁₀ (1-6)	1	6	6	+2°30	5,66	168°W		15	18°
4	H ₁₀ (7-12)	1	6	6	+0°30	5,42	154°W		9	24°30
5	H ₁₀ (19-21)	1	3	3	+60°30	2,64	144°W		5	
6	H ₁₀ (13-18)	1	6	6	+2°30	4,51	173°30W		10	24°30
7	H ₉ (19-21)	1	3	3	-2°30	2,87	149°W		15	32°
8	H ₉ (22-24)	1	3	3	-7°	2,99	166°30E		666	5°
9	H ₈ (22-24)	1	3	3	-5°30	0,88	132°30W		1	-
14	H ₁₃ (17-20)	1	4	0	-	-	-		-	-
10	H ₉ (1-6)	1	6	4	+80°30	2,63	143°W	} micro- granite II	2	-
11	H ₉ (7-12)	1	5	0	-	-	-		-	-
12	H ₉ (13-15)	1	3	1	+55°		96°E		-	-
13	H ₉ (16-18)	1	3	3	+44°	2,61	128°W		5	-
Sid Bou Fernana	H ₁₃ (1-3)	1	3	3	-53°30	3	149°30	} Andésites	181	81 1°
	H ₁₃ (4-6)	1	3	3	-68°30	2,87	165°W		15	33°
	H ₁₃ (7-10)	1	4	3	-54°30	2,85	155°30		13	35°
	H ₁₃ (11-16)	1	6	0	-	-	-		-	-
	H ₈ (1-3)	1	3	2	-39°	2,00	136°W		-	-
	H ₈ (4-6)	1	3	0	-	-	-		-	-
	H ₈ (7-9)	1	3	2	+38°30	1,97	26°W		-	-
	H ₈ (10-15)	1	6	2	-39°30	1,93	141°30W		-	-
	H ₈ (16-18)	1	3	2	-22°	1,98	112°30W		-	-
	H ₈ (19-21)	1	3	2	-41°30	1,99	113°30W		-	-
	H ₈ (25-30)	1	6	5	-55°	4,94	126°W		-	-
	H ₁₁ (4-10)	1	7	1	-18°	1	140°W		-	-
	H ₁₁ (11-13)	1	3	0	-	-	-		-	-
	H ₁₁ (1-3)	1	3	2	-52°	1,91	72°W		-	-
	H ₁₁ (14-16)	1	3	2	+20°	1,94	110°W		-	-
	Résultante andésites	10	-	25	+48	8,92	34°E	$\beta=11$ $k=33$ $\alpha_{95}=4°30$		

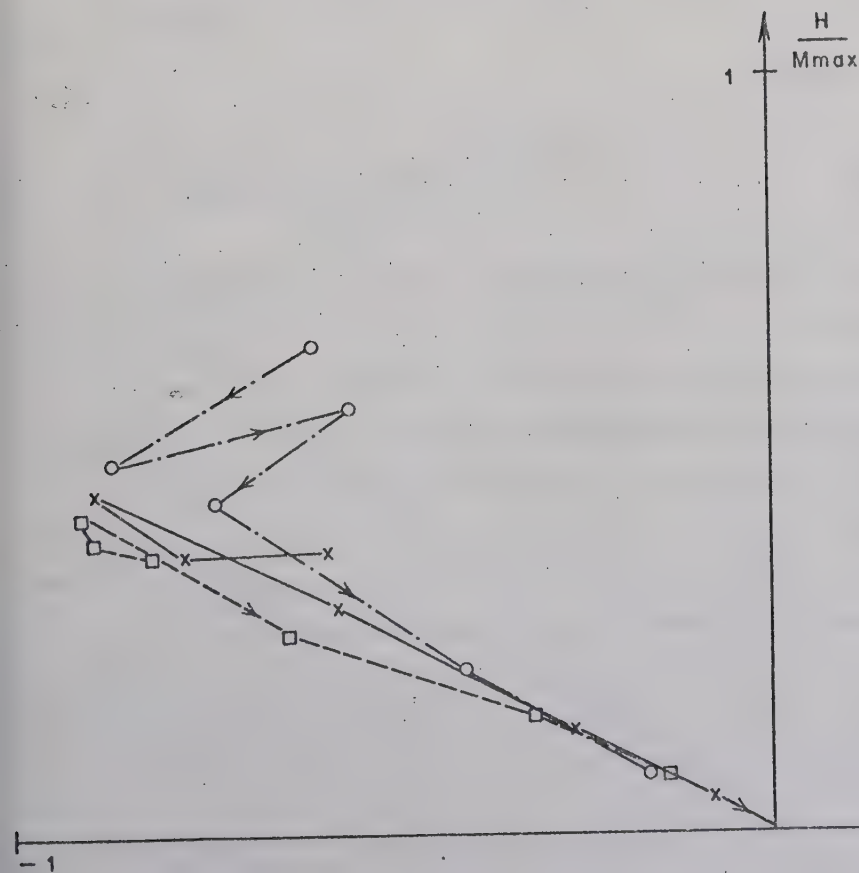
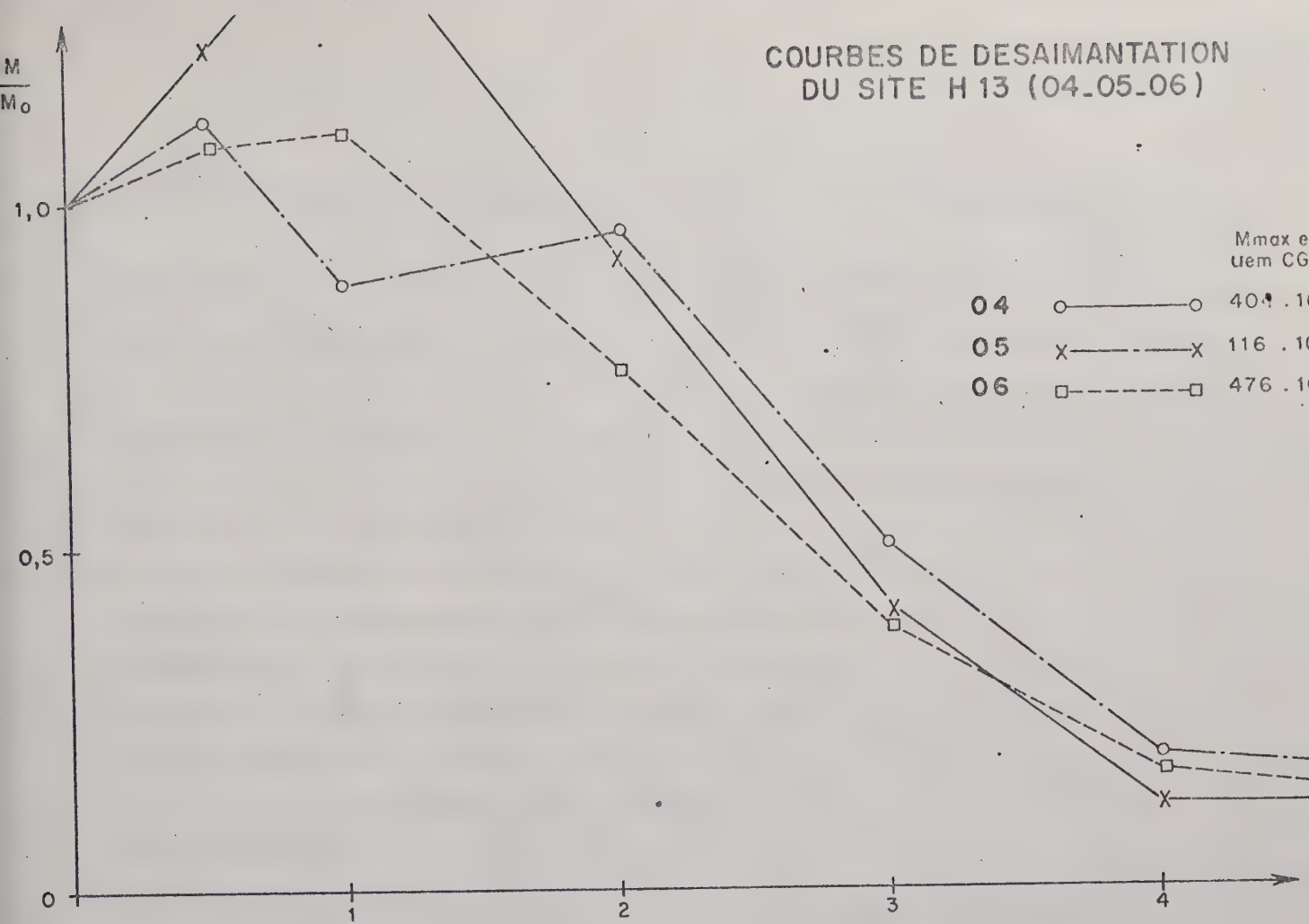
Position du pôle : $\lambda_p = 60°30N$ $\phi_p = 103°30 E$ $\delta_p = 4°$ $\delta_m = 6°$
 Coordonnées du lieu : $37° N$ $7° 20 E$

TABLEAU VI

Direction d'aimantation de la région

D'Herbillon et de Sidi Bou Fernana (1964)

COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H 13 (04.05.06)



Echantillon H ₁₃₋₁	Composantes mesurées		
	x	z	y
Après désaimantation à 600 Oe.	- 112.4.10 ⁻⁵	- 313.4.10 ⁻⁵	-415.4.10 ⁻⁵
Après six mois dans champ terrestre	+ 310.4.10 ⁻⁵	+ 109.4.10 ⁻⁴	-060.4.10 ⁻⁵
Nouvelle désaimantation à 600 Oe.	- 120.4.10 ⁻⁵	- 370.4.10 ⁻⁵	-426.4.10 ⁻⁵

Sur l'échantillon 03, ^{après} l'action d'un champ de 300 Oe, apparaît une légère instabilité de la direction d'aimantation. Cependant celle obtenue pour $H_N = 200$ Oe est proche de celle de l'aimantation résistante des autres échantillons. Nous pensons que l'aimantation thermorémanente est atteinte.

Lot 4 - 5 - 6 (fig. 147). Les blocs ont été prélevés sur un lambeau de coulée intercalée dans les tufs surmontant la coulée précédente. L'aimantation est inverse. La composante visqueuse disparaît après action d'un champ de 200 Oe et le rapport $\frac{M_{400}}{M_0}$ reste compris entre 0,3 et 0,1.

Lots (7 - 8) et (9 - 10) (fig. 148).

Ils correspondent à deux coulées réduites affleurant sous la précédente.

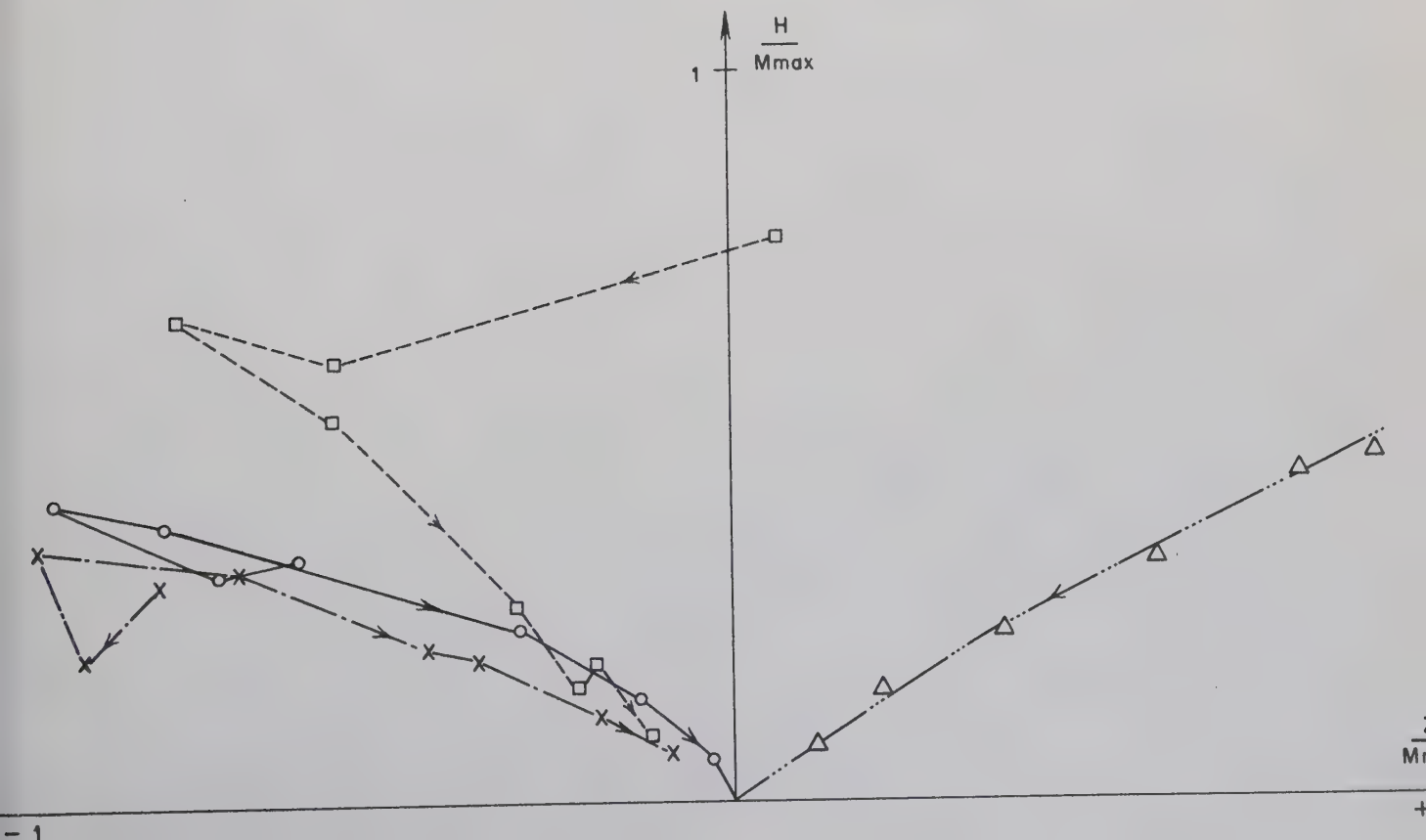
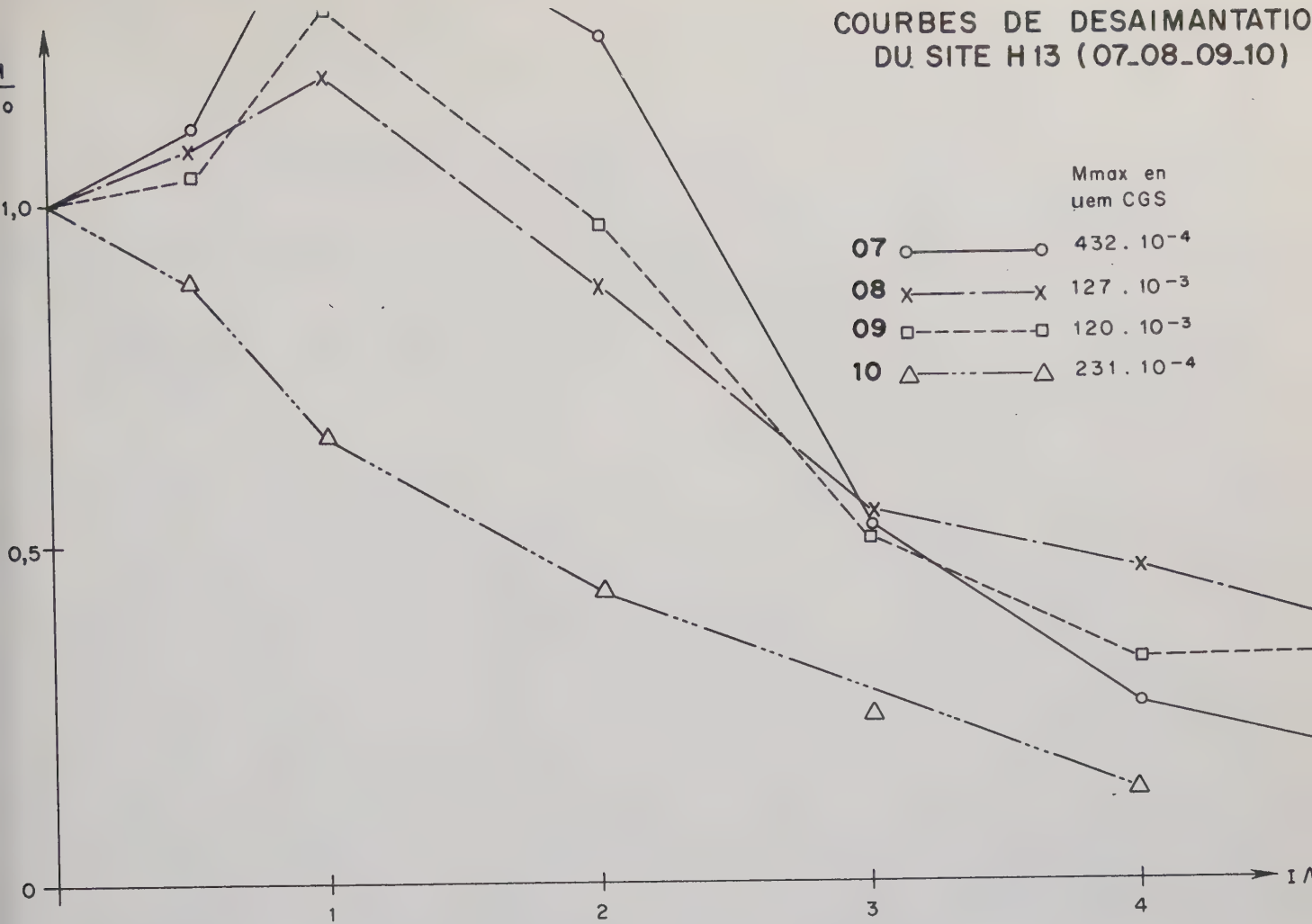
Pour le lot (7 - 8) l'aimantation inverse est sûre et elle caractérise la coulée.

Les aimantations des échantillons (9 - 10) prélevés à la même altitude semblent aussi caractéristiques. Une incertitude demeure pour l'échantillon 09 dont la direction est fluctuante à la fin de la désaimantation.

Lots (11 - 12 - 13) et (14 - 15 - 16) (fig. 149).

Ils correspondent à deux sites étalés sur une même

COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H13 (07.08.09.10)



coulée d'andésite à biotite et augite qui affleure le long de la piste au dessus du Château d'eau (fig. 149bis).

L'échantillon 11 présente une ARV ou une ARI et il semble que l'on atteigne une aimantation dure inverse.

L'échantillon 12 présente une aimantation très instable.

L'échantillon 13 présente, par contre, une aimantation résistante de sens normal.

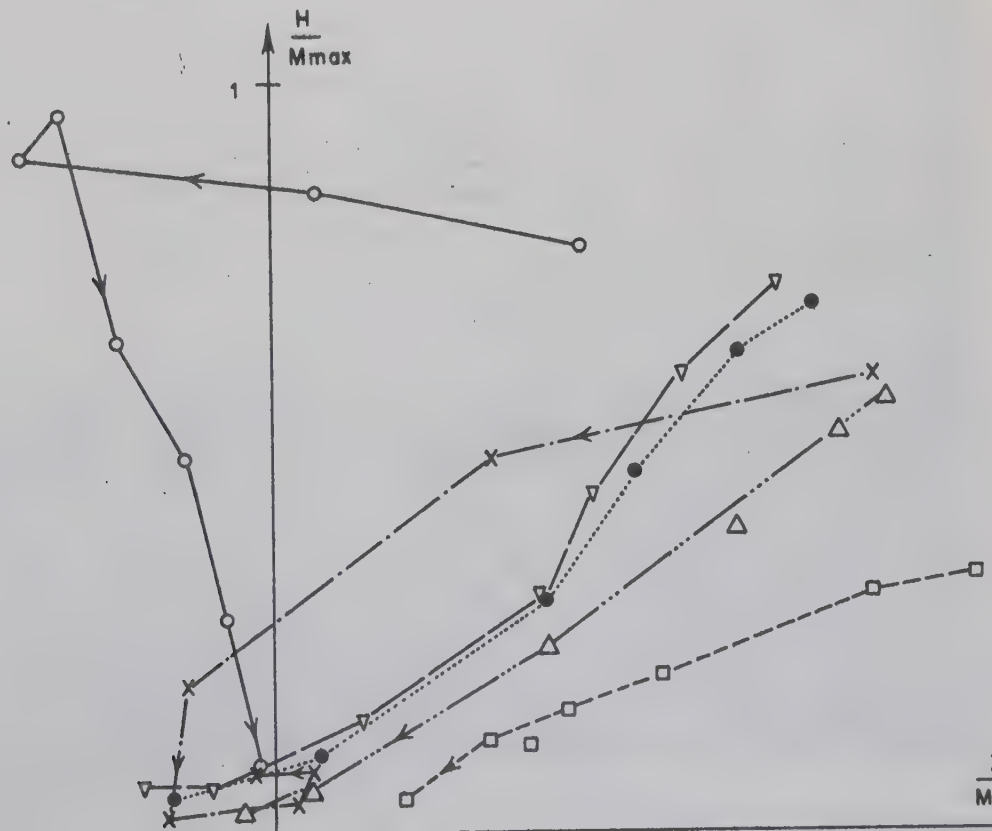
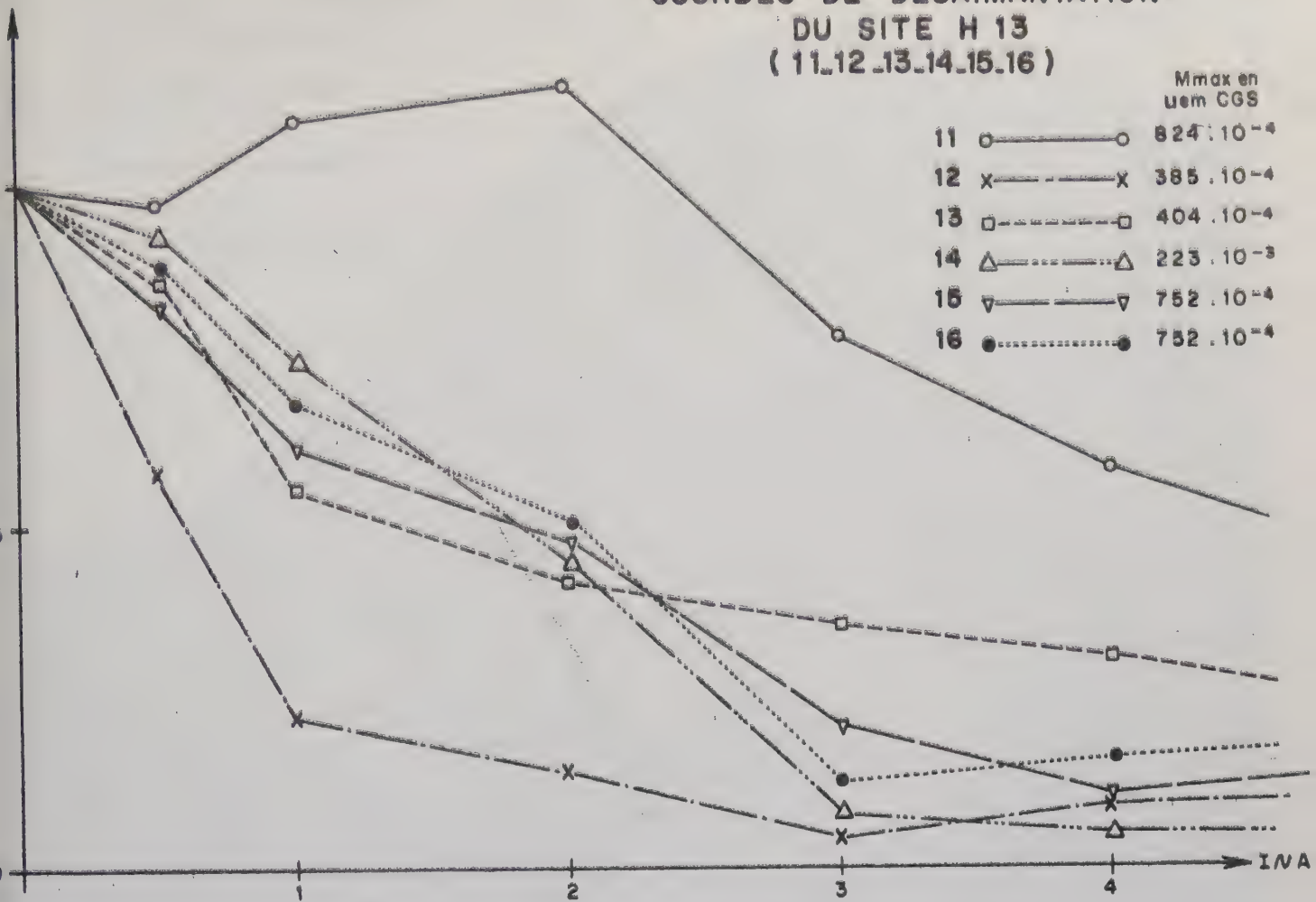
Les échantillons 14 - 15 - 16 présentent des aimantations normales cohérentes jusqu'au palier de 200 Oe. Mais dans les trois cas l'action d'un champ de 300 Oe fait brusquement disparaître l'aimantation normale et à 600 Oe les directions d'aimantation, inverse, sont cohérentes et proches de celles des autres coulées.

L'interprétation de ces données est délicate. La coulée est-elle à aimantation inverse ou à aimantation normale ? A-t-on deux aimantations superposées, l'une due à l'action des éléments hydrothermaux et fumerolliens apportés par les intrusions dioritiques postérieures ? C'est possible mais il est difficile de l'affirmer.

Compte tenu des indications obtenues sur les coulées voisines H_{13} - 1-3 nous serions tentés de dire que l'aimantation la plus résistante correspondrait à l'aimantation thermorémanente primitive ? Toutefois, nous ne pouvons pas exclure la possibilité d'ARA.

Pour tester le comportement des échantillons vis à vis de l'ARA nous avons réalisé deux expériences d'ARA artificielle dans le champ terrestre (échantillons H_{13-12} et H_{13-15}). Les résultats sont traduits dans les fig. 150 a et b. La courbe d'évolution spontanée de l'aimantation après la première désaimantation montre nettement que l'échantillon H_{13-12} était essentiellement porteur d'une aimantation visqueuse et que, celle-ci détruite l'ARA devient sensible, même en champ faible, dès les paliers 200 Oe et 300 Oe. De même l'échantillon H_{13-15} est sensible à

COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H 13 (11.12.13.14.15.16)



ESQUISSE GEOLOGIQUE

DU FLANC EST DU " KEF EL GOUROU "

(d'après J. HILLY 1954)

Equidistance des courbes : 1 m.
La cote de départ de 100 m est relative

0 20 40 M.

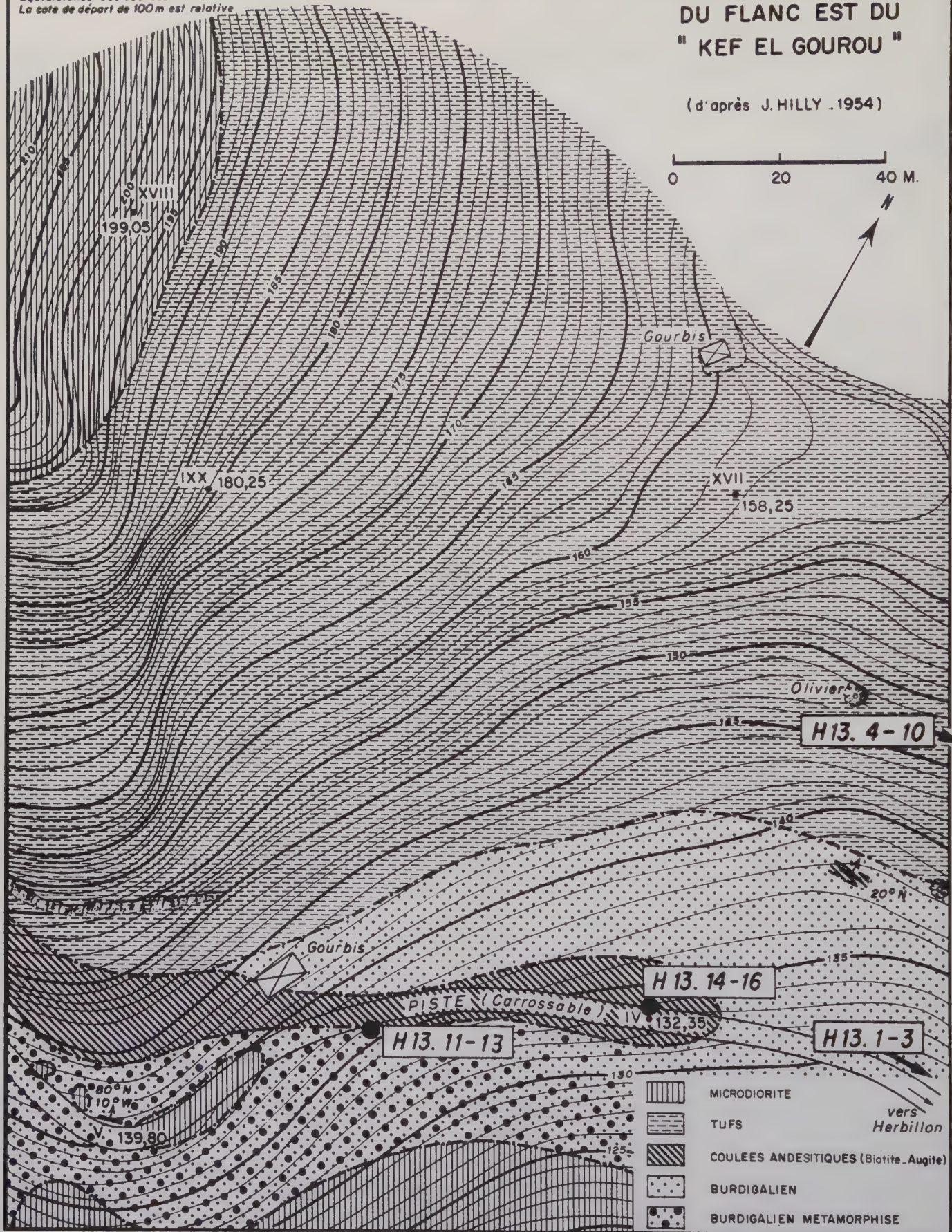
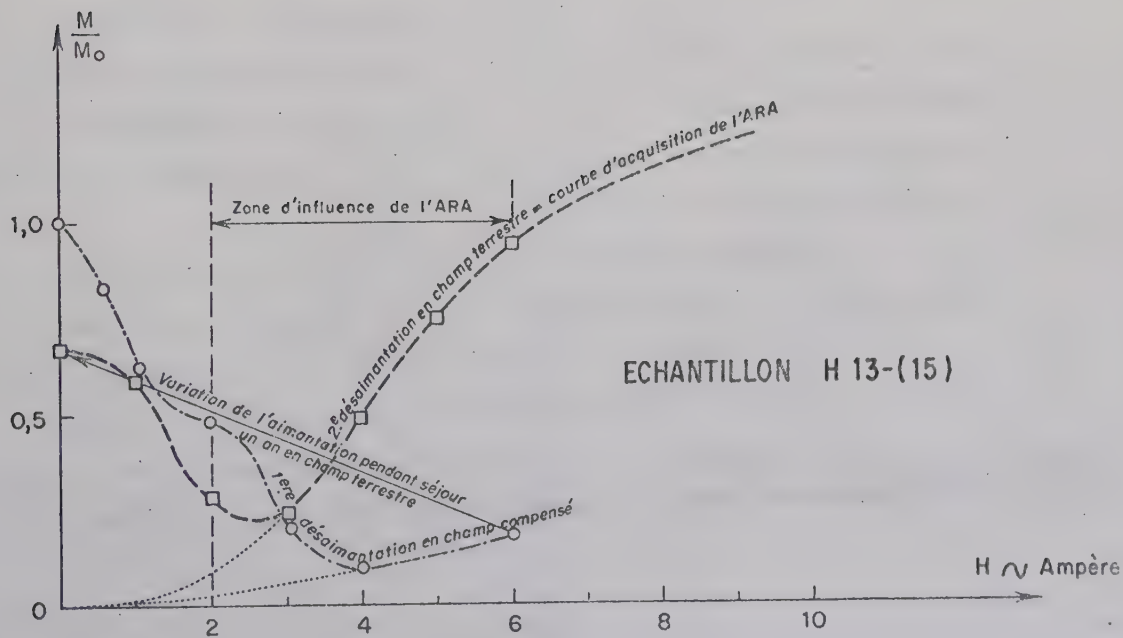
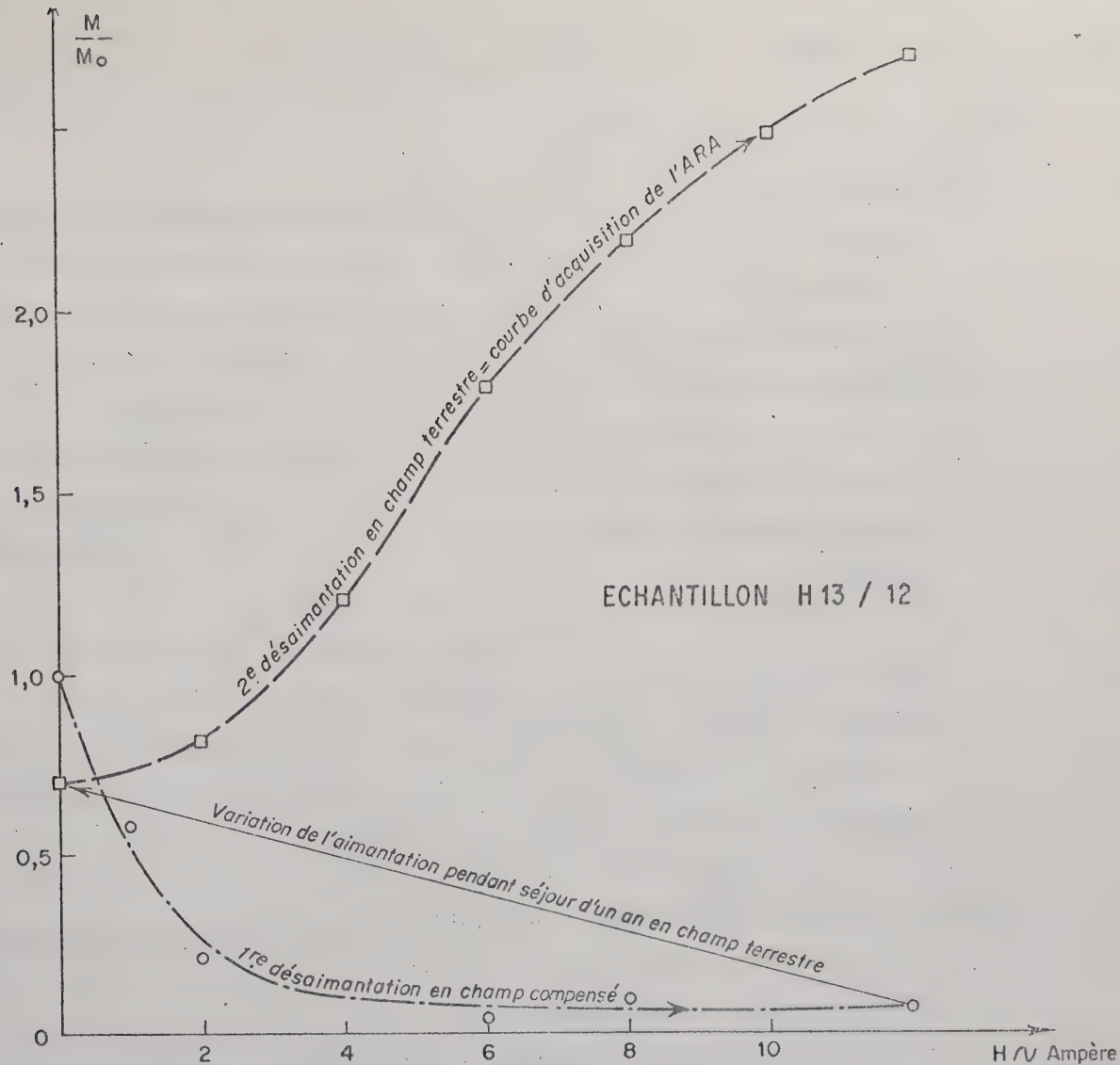


Fig 14 9 bis



l'ARA. De plus la courbe d'évolution spontanée de l'aimantation, après désaimantation en champ terrestre compensé, montre que l'échantillon est porteur d'une aimantation visqueuse. Cette ARV est relativement résistante comme le montre le début de la courbe de désaimantation réalisée en champ non compensé.

La coulée semble porter presque exclusivement des aimantations visqueuses. En effet la courbe de désaimantation du bloc H₁₃₋₁₃ peut aussi correspondre à celle d'une ARV résistante.

SERIE H 8 : Lot (1 - 2 - 3) (fig. 151)

Prélevé à 175 m, sur une coulée du sommet du Kef el Gou-rou, l'échantillon 1 est porteur d'une ARI très forte $M_s = 169 \times 10^{-1}$ uemcgs. Les échantillons 2 et 3 permettent d'atteindre l'ATR dont la direction est proche de celle de la coulée correspondant aux échantillons H₁₃ (7-8).

Lot (4 - 5 - 6) (fig. 152)

Il provient d'un dyke ancien recoupé par les dykes plus récents. Les aimantations semblent correspondre à des ARI. La faiblesse des aimantations qui subsistent après action d'un champ de 400 Oe ne permet pas de pousser l'analyse plus loin de façon valable.

Lot (7 - 8 - 9) (fig. 153)

Ce lot prélevé à 155 m provient d'une coulée recoupée par le dyke précédent. Les blocs sont porteurs d'ARI (Test de viscosité négatif), mais il semble que l'on approche de l'ATR sur les échantillons 7 - 8. L'échantillon 9 ne permet pas d'atteindre une direction caractéristique.

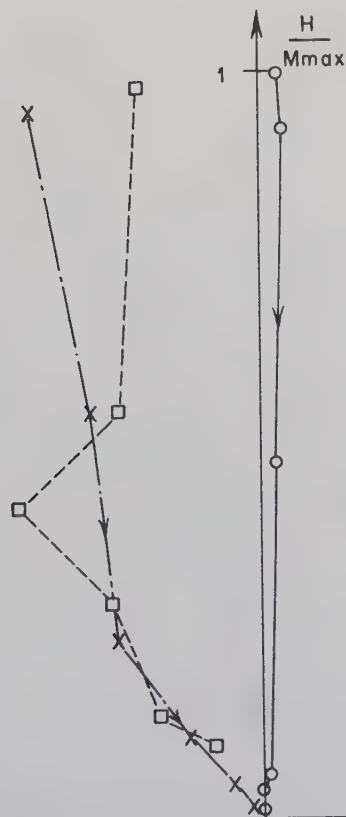
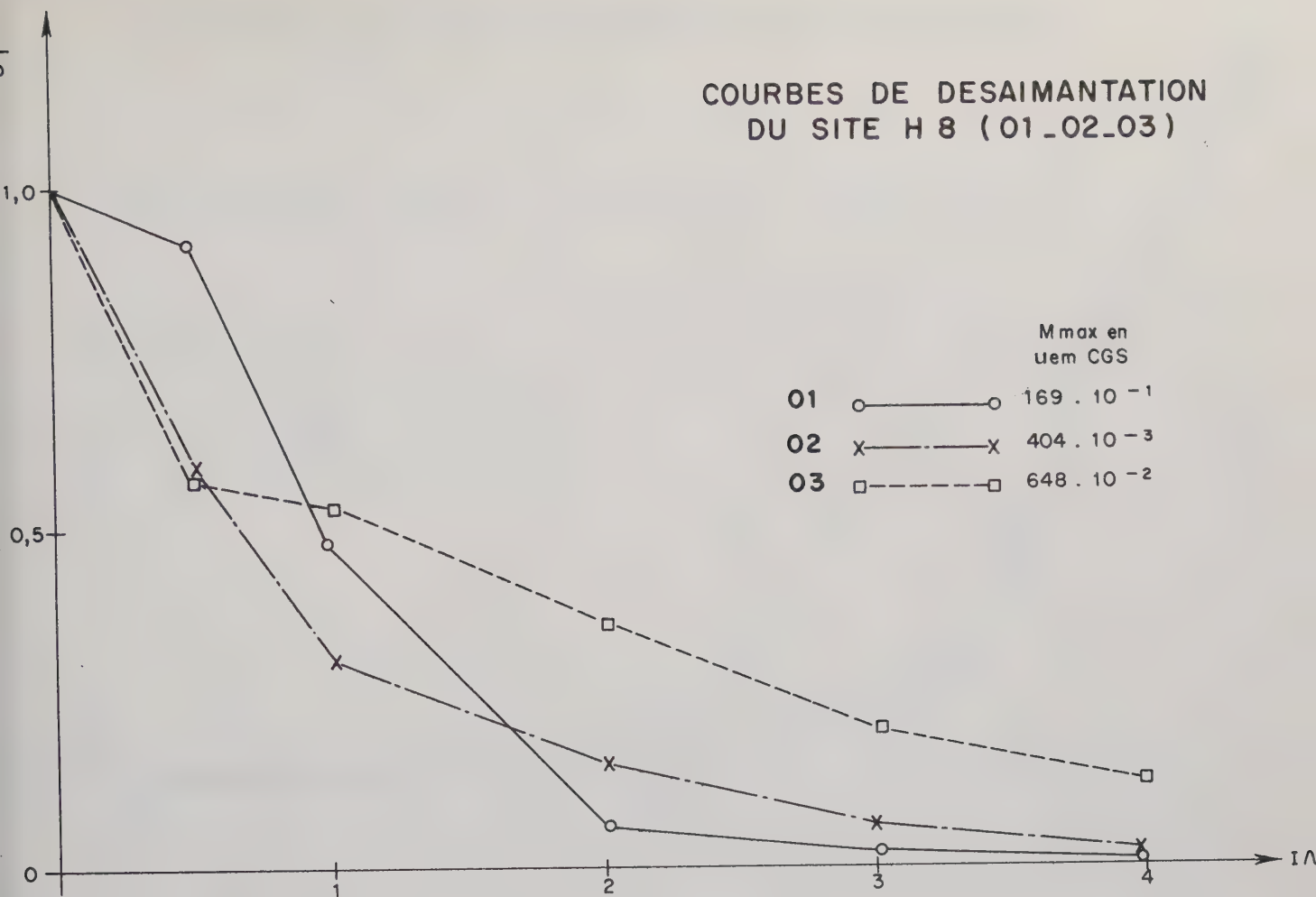
D'après les résultats obtenus sur les blocs 7 et 8 nous pensons que la coulée moyenne est à aimantation normale.

Lots (10 - 11 - 12) et (13 - 14 - 15) (fig. 154 et 155).

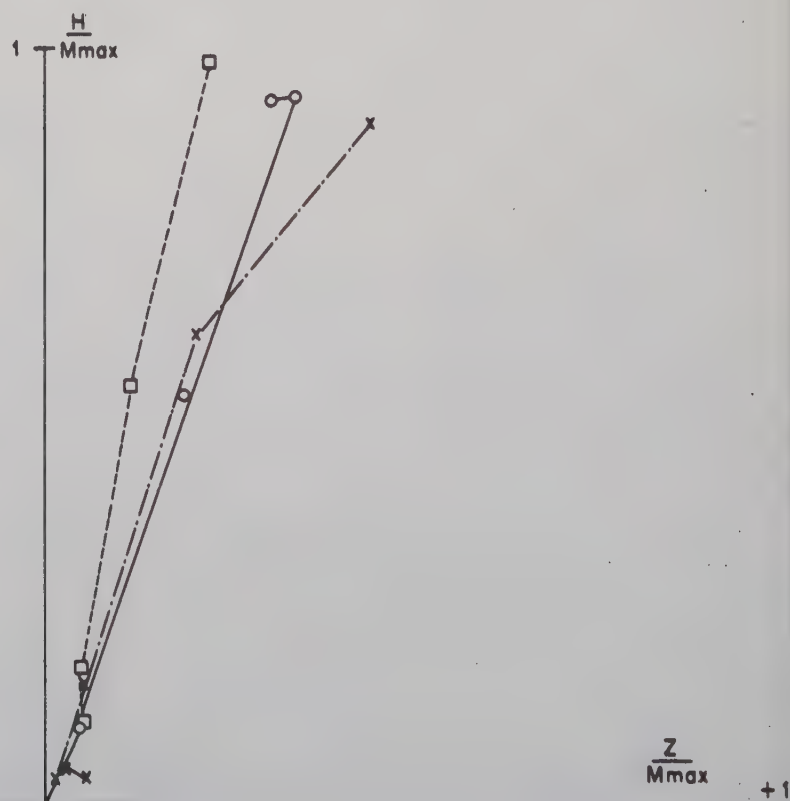
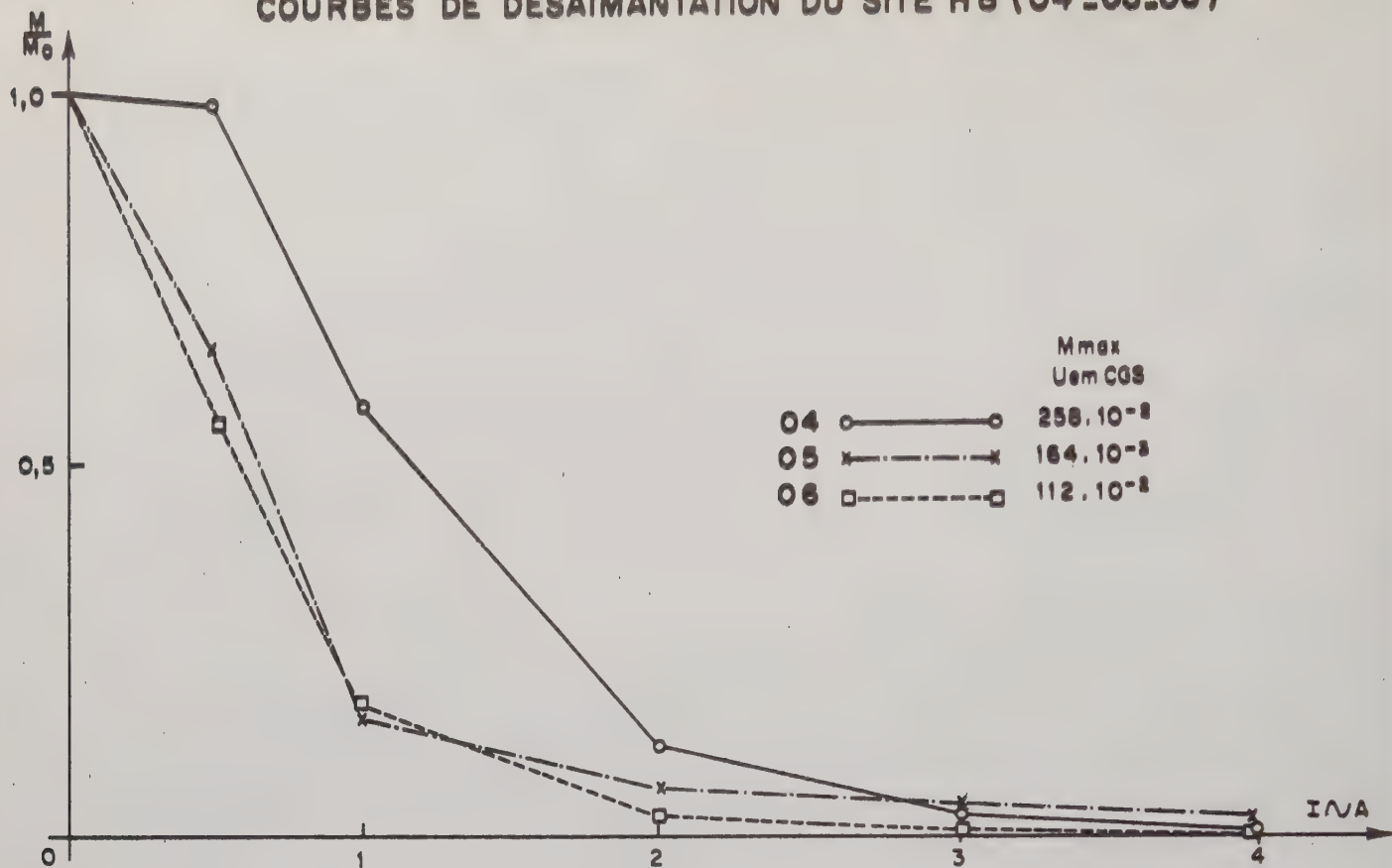
Ils ont été prélevés sur une coulée à 135 m.

Là encore il faut noter la présence d'ARI ou d'aimantation visqueuse dure. L'échantillon 10 permet d'atteindre l'ATR.

COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H 8 (01_02_03)



COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H8 (04_05_06)



COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS H8(07-08-09)

$M_0: 4 \times 10^{-4}$
u.e.m.c.g.s

07 : 1544
08 : 901
09 : 234

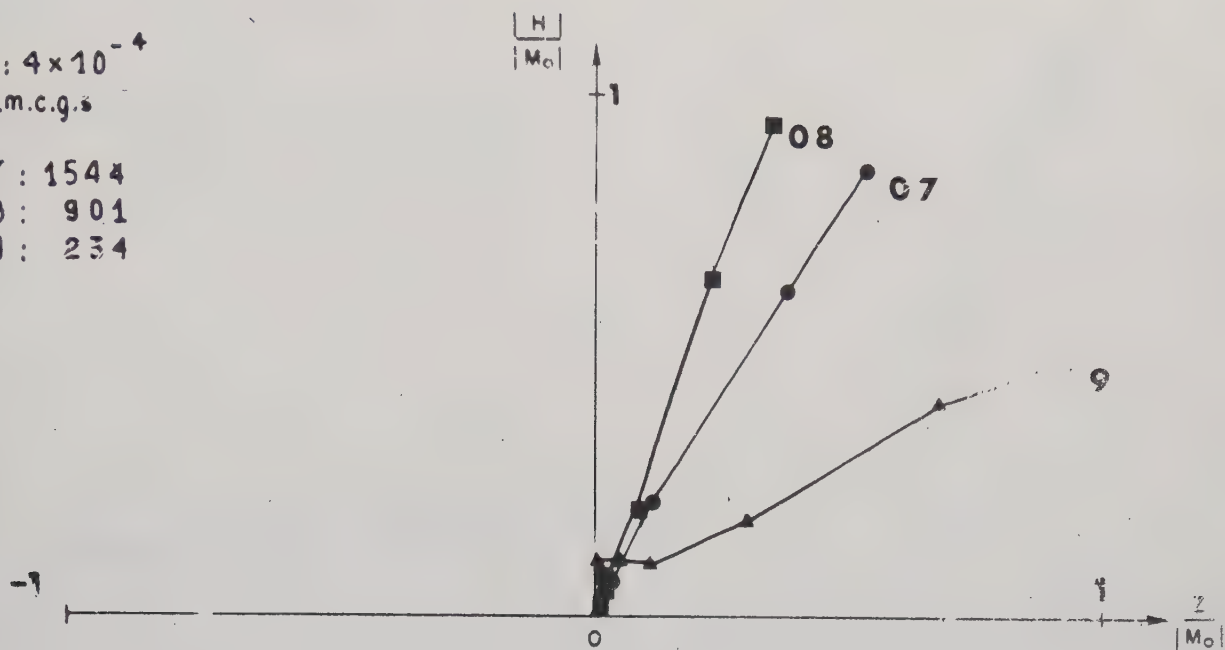
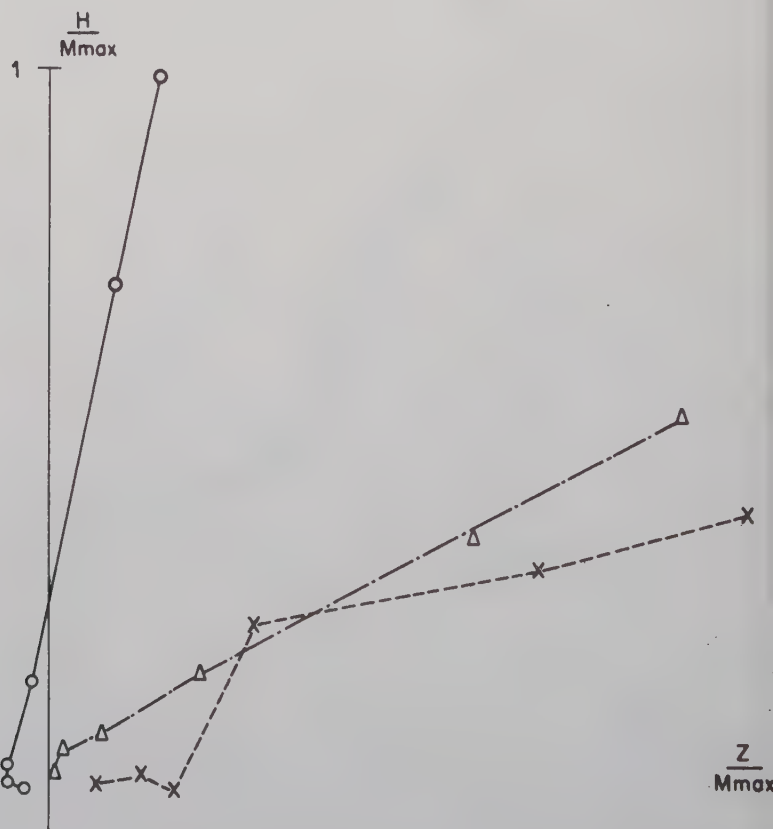
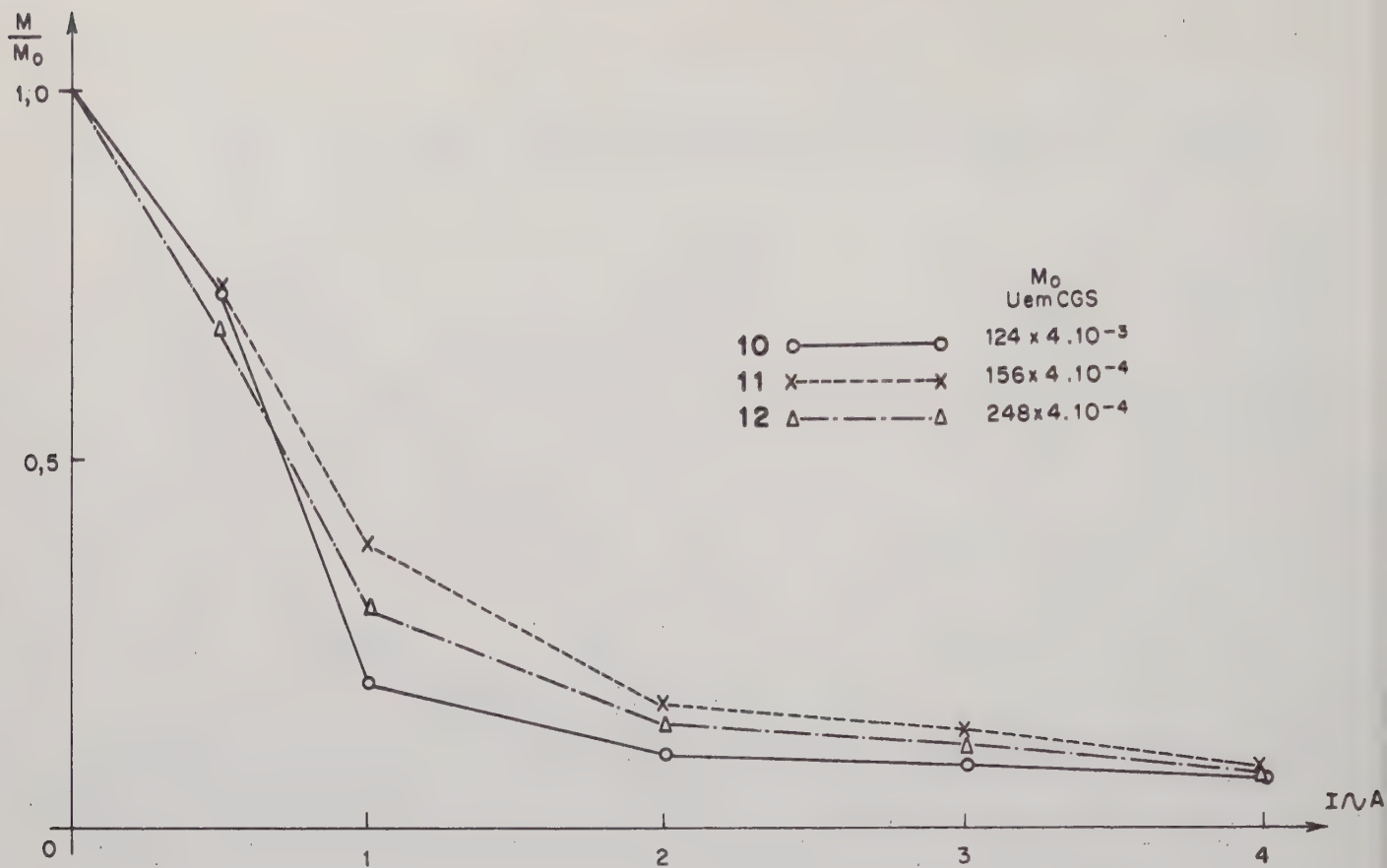
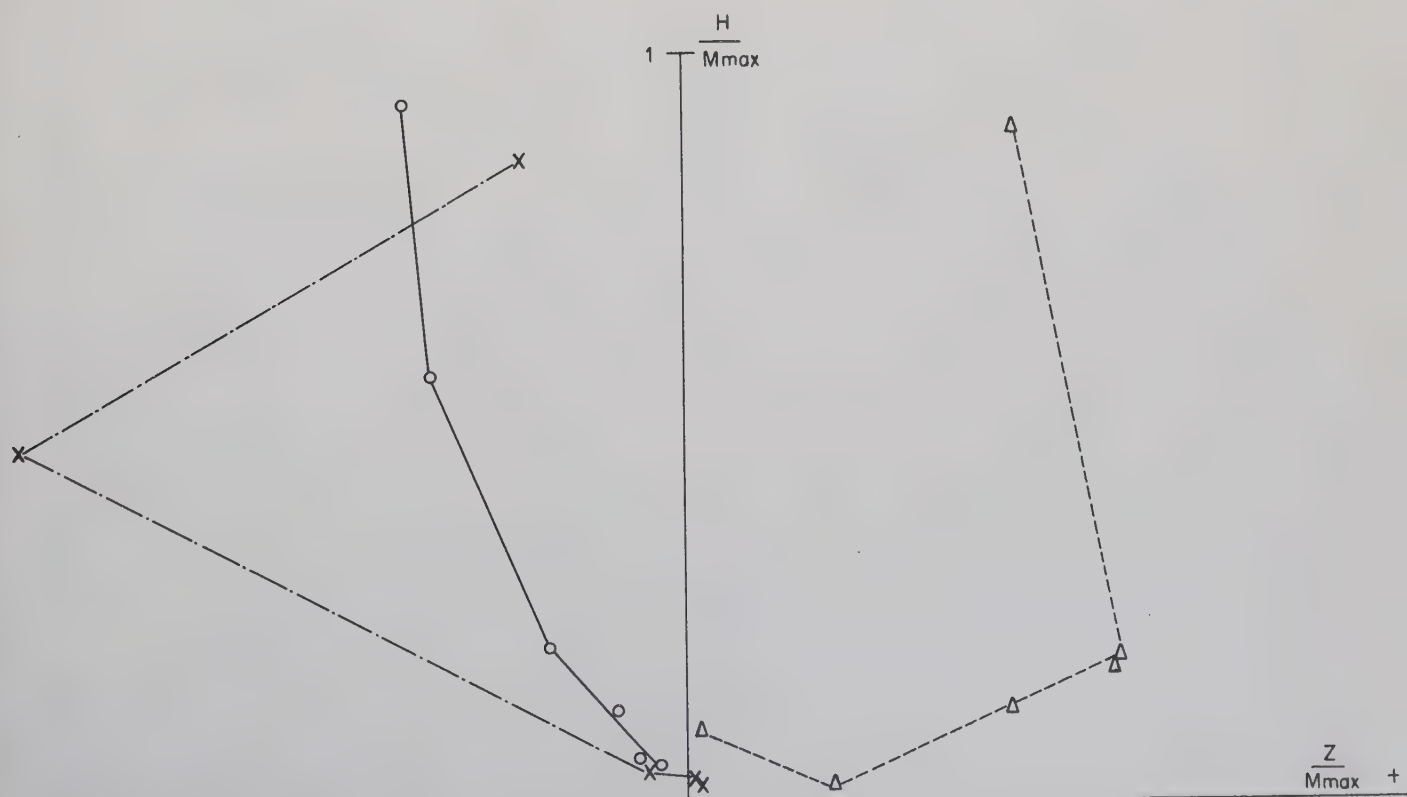
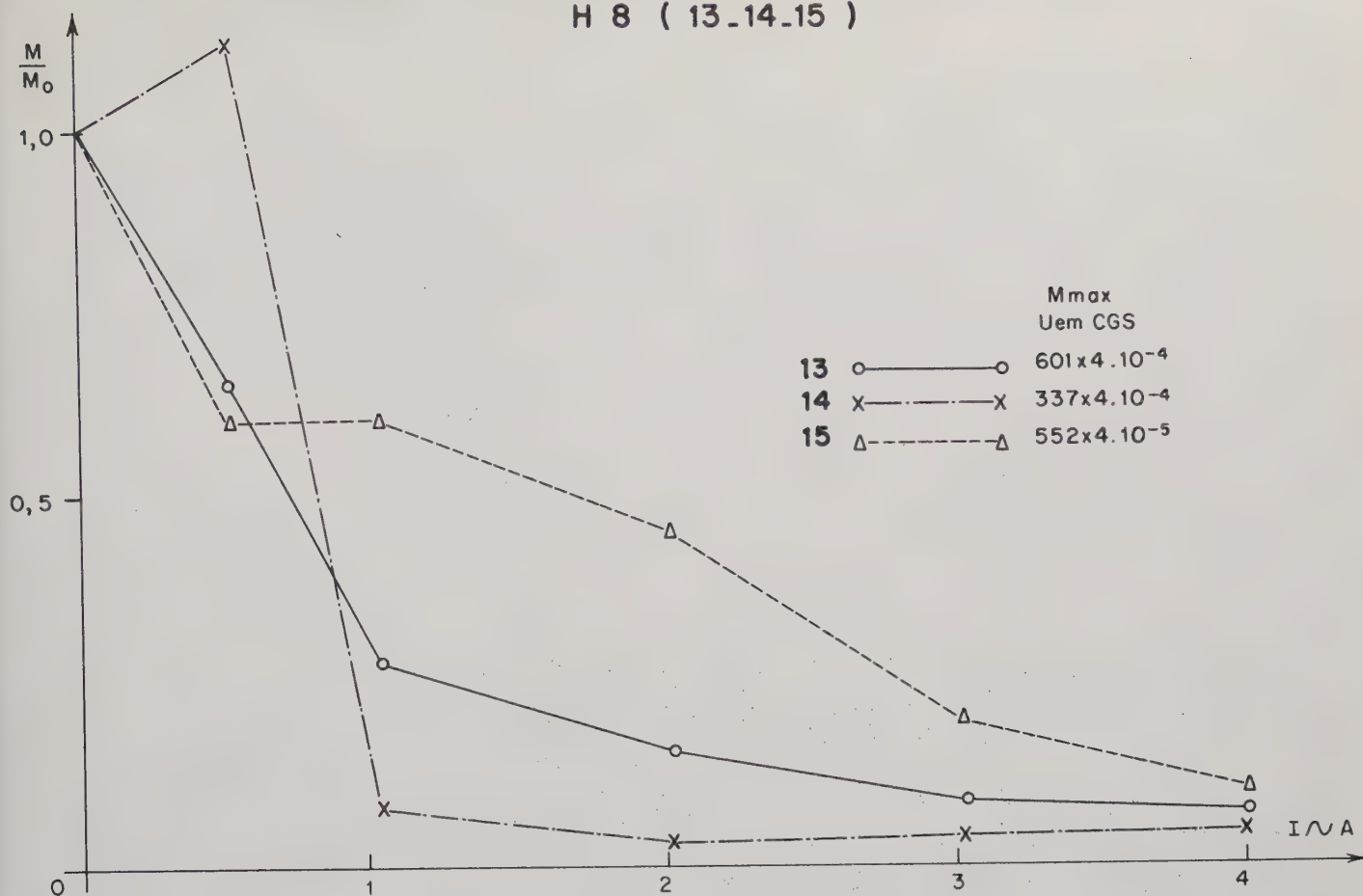


Fig: 153

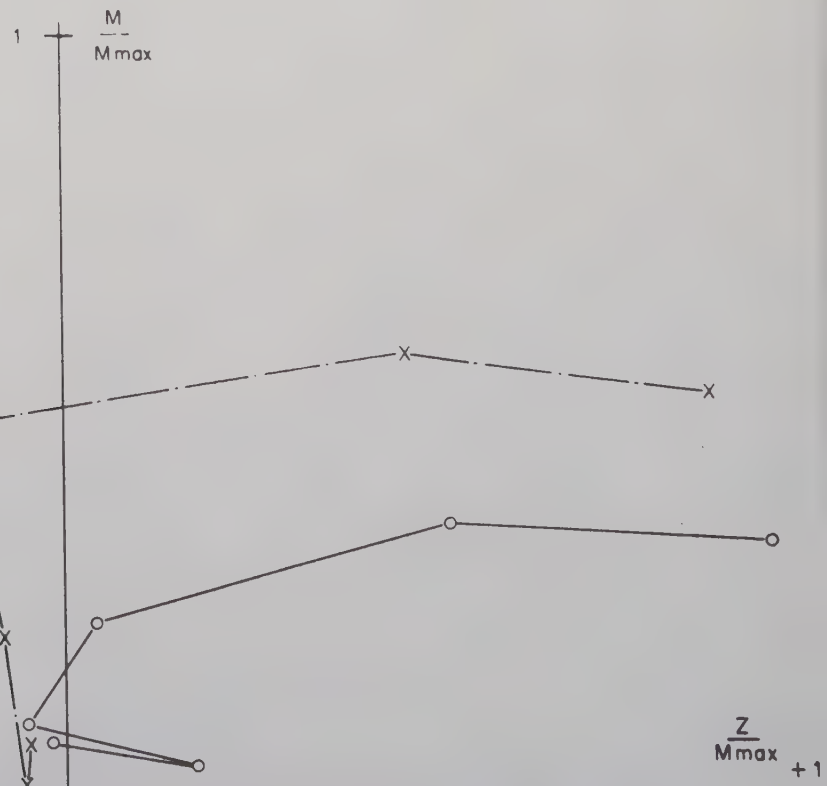
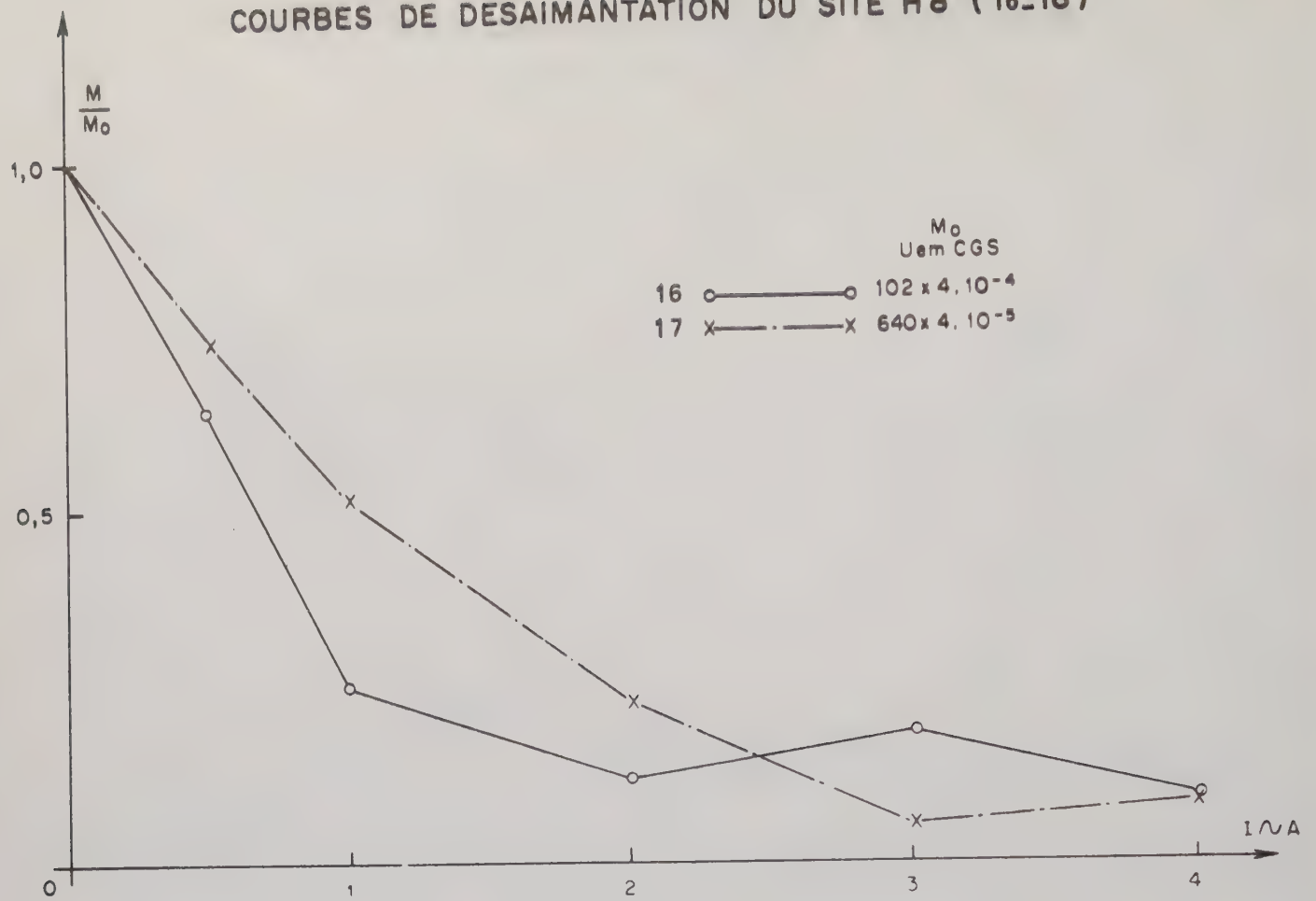
COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H 8 (10.11.12)



COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS H 8 (13.14.15)



COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H8 (16-18)



Les échantillons 12 et 13 évoluent aussi vers des aimantations inverses, mais la position stable n'est pas atteinte. L'échantillon 13 permet d'atteindre l'ATR mais les blocs 14 et 15 montrent des directions qui varient beaucoup, l'aimantation semblant évoluer vers une aimantation inverse. Compte tenu des échantillons 10 et 13 nous pouvons cependant supposer que l'aimantation est inverse.

Lots (16 - 17 - 18) (fig. 156).

L'aimantation est très instable dès le palier de désaimantation de 300 Oe. Si à 200 Oe les résultats sont cohérents, la fin de la désaimantation ne permet pas de conclure sur la nature de l'aimantation.

Lots (19 - 20 - 21). (fig. 157)

Prélevés sur une coulée ancienne à 105 m seuls les échantillons 20 et 21 permettent de supposer que la coulée est à aimantation inverse.

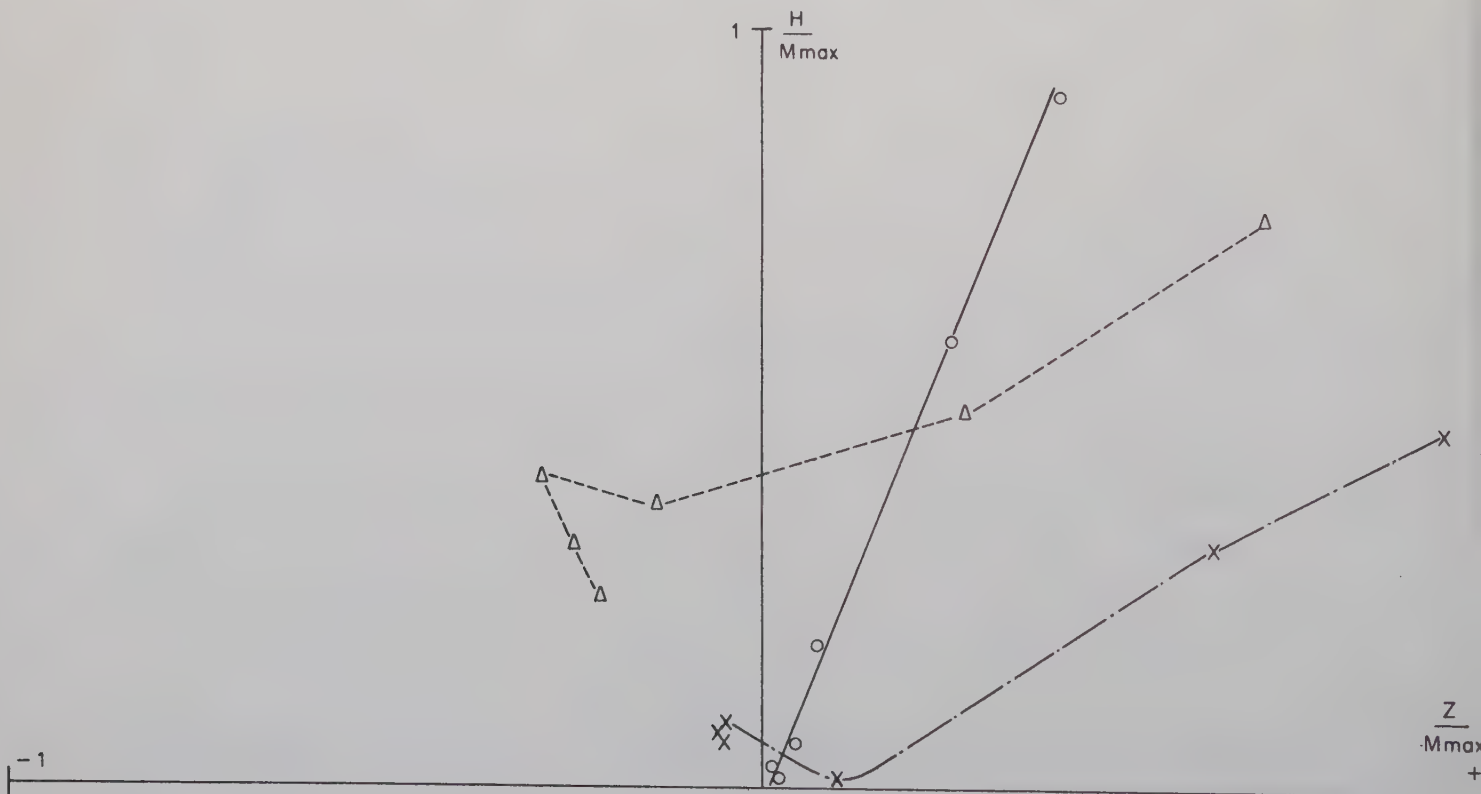
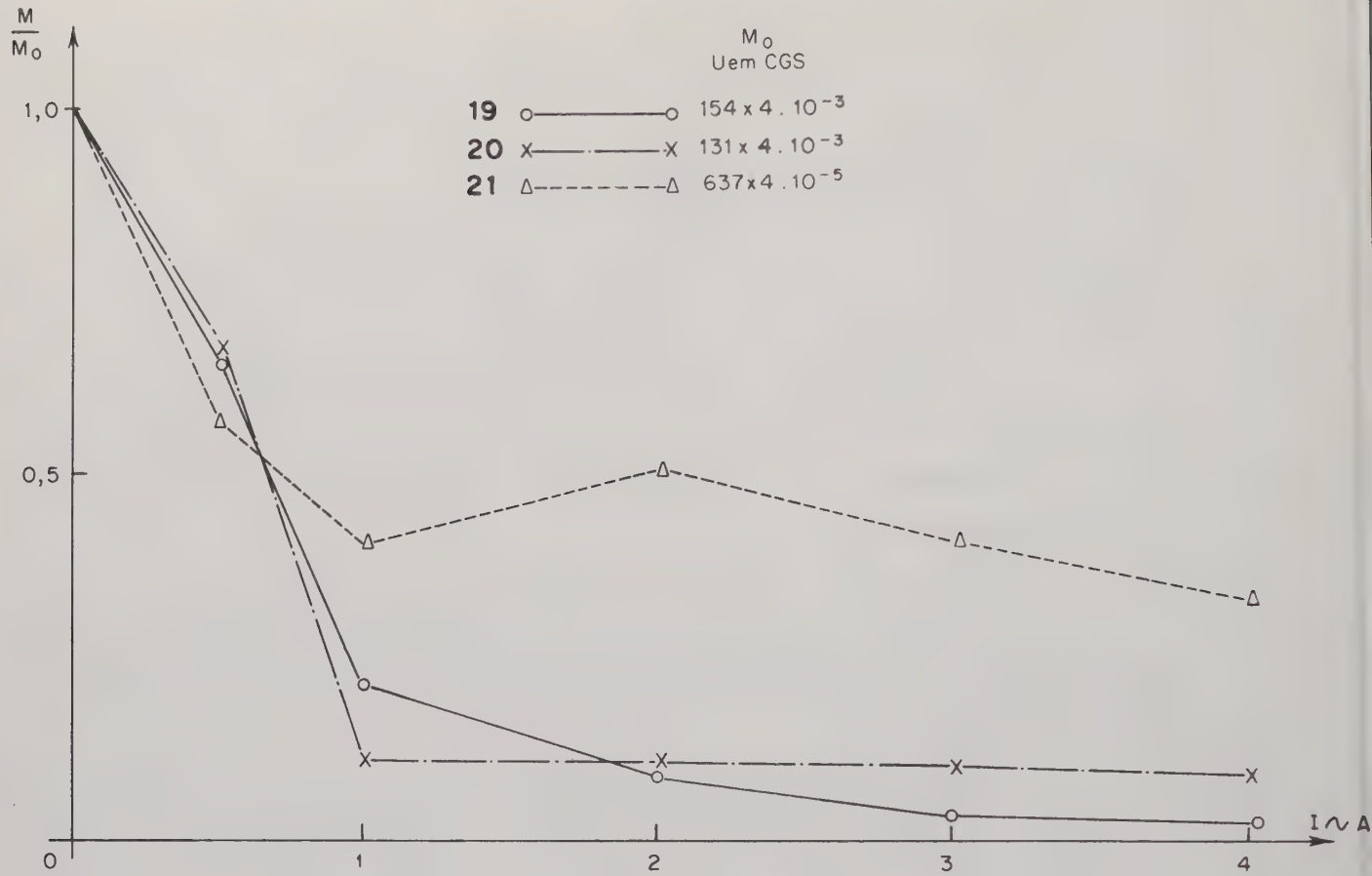
Lots (25 - 30). (fig. 158)

Les échantillons proviennent d'un dyke qui correspond aux andésites terminales. Certains ont été prélevés sur une coulée recoupée par le dyke au contact de celui-ci, les autres proviennent du dyke lui-même. Les résultats sont très cohérents.

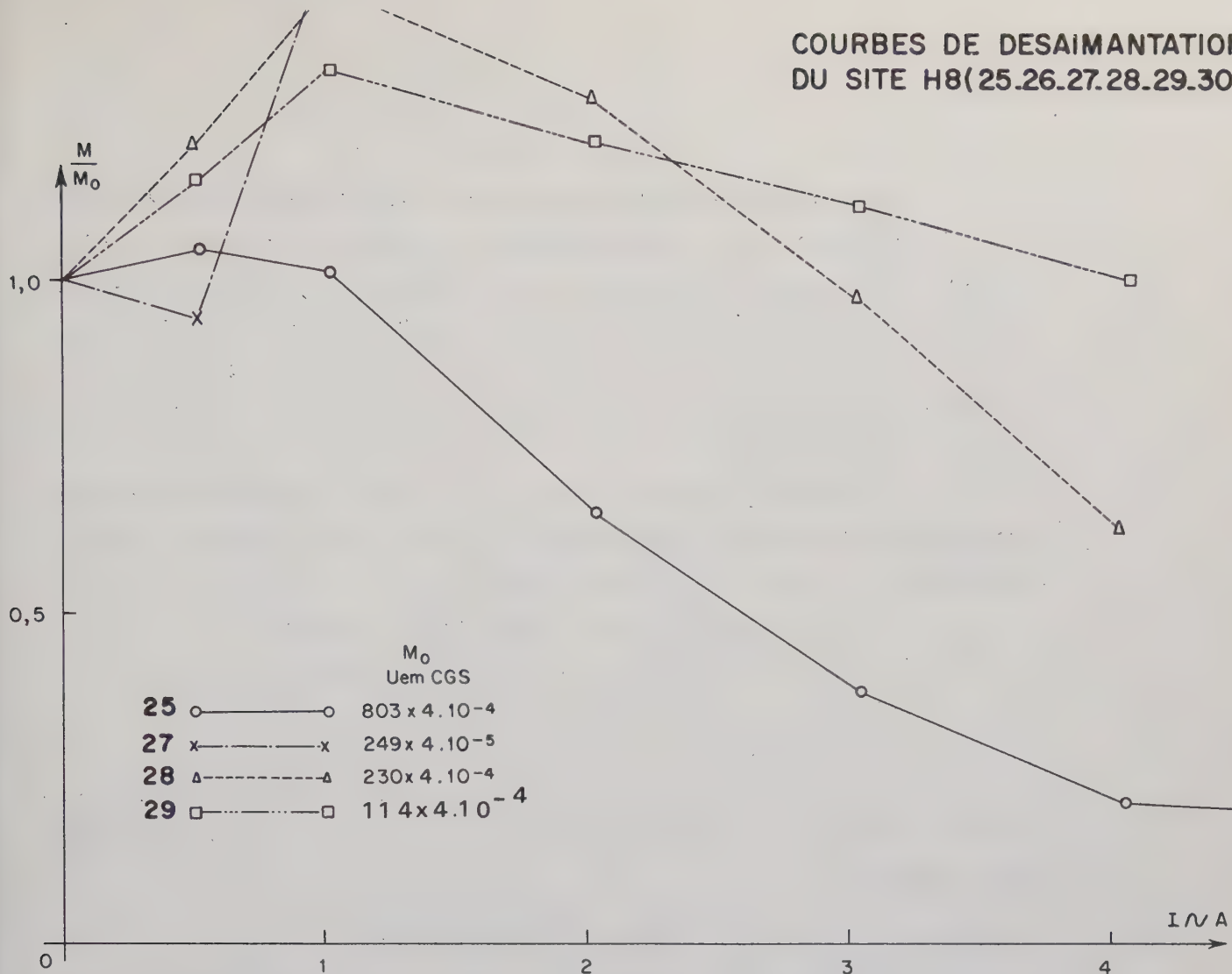
Pour compléter cette analyse, des prélèvements ont été effectués sur des filons d'andésites terminales qui traversent les formations sédimentaires près du Marabout de Sidi Bou Fernana. Un seul échantillon présente une aimantation mesurable (H_{9-11}). Il s'agit d'une aimantation dure inverse de faible inclinaison.

En résumé, les andésites du Kef el Gourou constituent un matériel très médiocre pour les études paléomagnétiques. L'évolution géologique du massif entraîne une forte dislocation des coulées ce qui limite considérablement le nombre de sites de prélèvements. Les formations utiles sont, de plus de petite dimension. Cette disposition accroît l'influence des ARI dues à la foudre qui perturbe la plupart des sites utilisables.

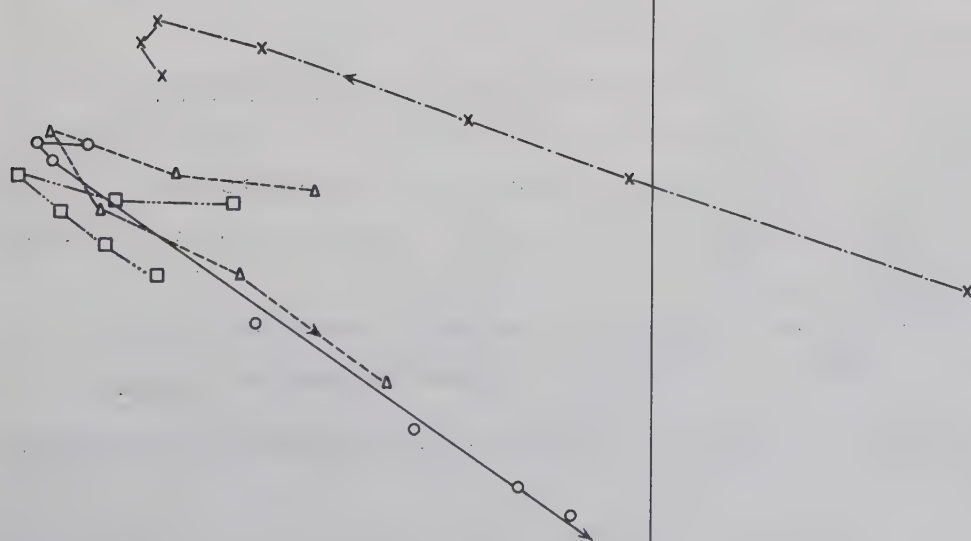
COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H8 (19-20-21)



COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H8(25.26.27.28.29.30)



1 $\frac{H}{M_{max}}$



$\frac{Z}{M_{max}} +$

Il semble par ailleurs que les altérations dues aux apports fumerolliens qui ont accompagné la montée des sills de diorite entraînent le développement des aimantations visqueuses. C'est en particulier ce qui peut expliquer l'aimantation des sites H_{13} (11-12-13) et H_{13} (14-15-16) situés à la limite de l'auréole de métaphormisme qui entoure les diorites sous-jacentes comme le montre la figure 149bis.

Il semble, toutefois, que l'on puisse considérer que les formations andésitiques présentent les caractères que nous avons schématisés en 1968 (C. BOBIER, 1968).

- Coulées anciennes à aimantation inverse.
- Coulées moyennes à aimantation normale.
- Coulées supérieures à aimantation inverse.
- Dykes terminaux à aimantation inverse.

Des mesures complémentaires seraient cependant nécessaires pour confirmer ce schéma, surtout en ce qui concerne les andésites moyennes.

b) Groupe des microdiorites :

Quarante deux échantillons avaient été prélevés dans six carrières (sites 1 à 6, fig. 145) réparties sur l'ensemble de la formation du Cap Tekouch, six sur les microdiorites en contre bas du cimetière européen et près de Fontaine Romaine (sites 7 - 8, fig. 145), trois sur le substratum du Kef el Gourou au niveau de la baie Ouest (site 9, fig. 145).

α) Comportement des aimantations :

- Les intensités d'aimantation sont faibles (plus petites que $2 \cdot 10^{-6}$ uemcgs/cm³ mais dans la plupart des cas mesurables.
- Du point de vue direction et dureté de l'aimantation on distingue deux groupes :

. Un groupe à aimantation de sens inverse résistant assez bien à l'action des champs alternatifs (rapport $\frac{M_{300}}{M_0}$ compris entre 0,3 et 0,5 et direction de l'aimantation constante) (fig. 149)

COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS DES sites 7 et 8

$M_0: 4 \times 10^{-5}$
u.e.m.c.g.s

H09-19: 873
20: 58
21: 1111
22: 66
23: 103
24: 704

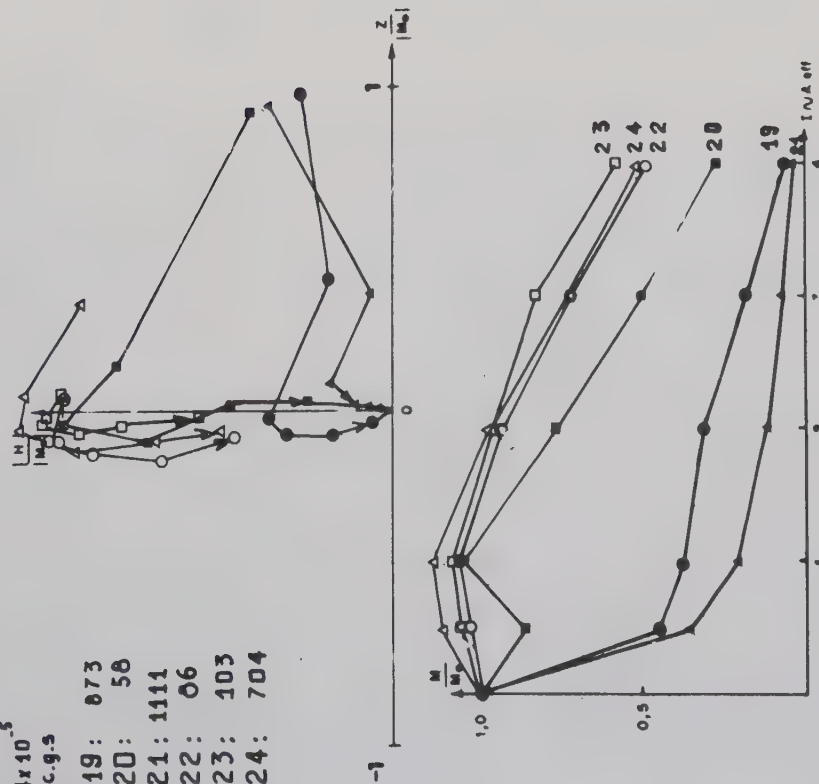
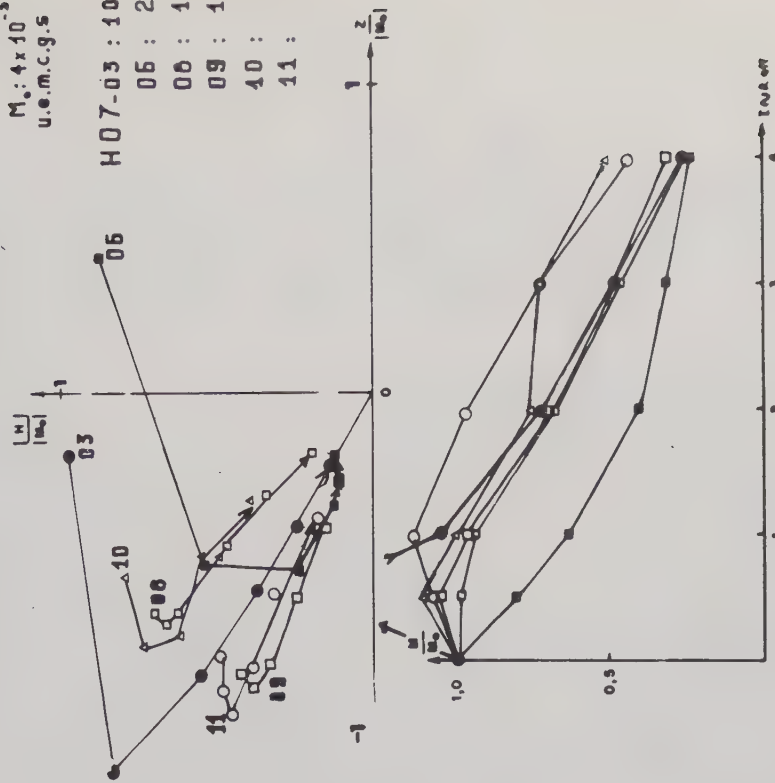


Fig: 159

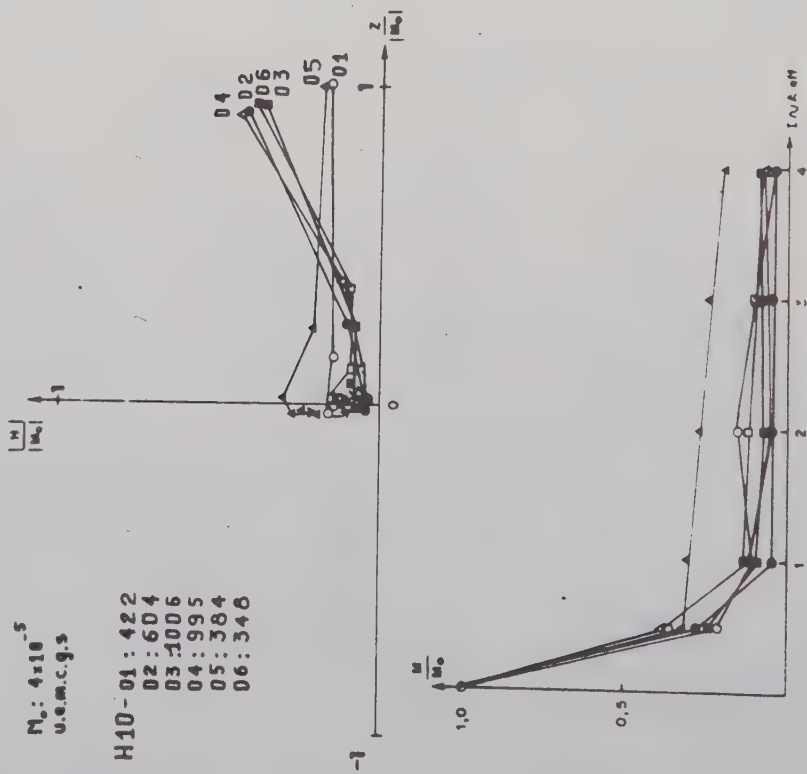
COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS DU SITE 01

$M_0: 4 \times 10^{-5}$
u.e.m.c.g.s

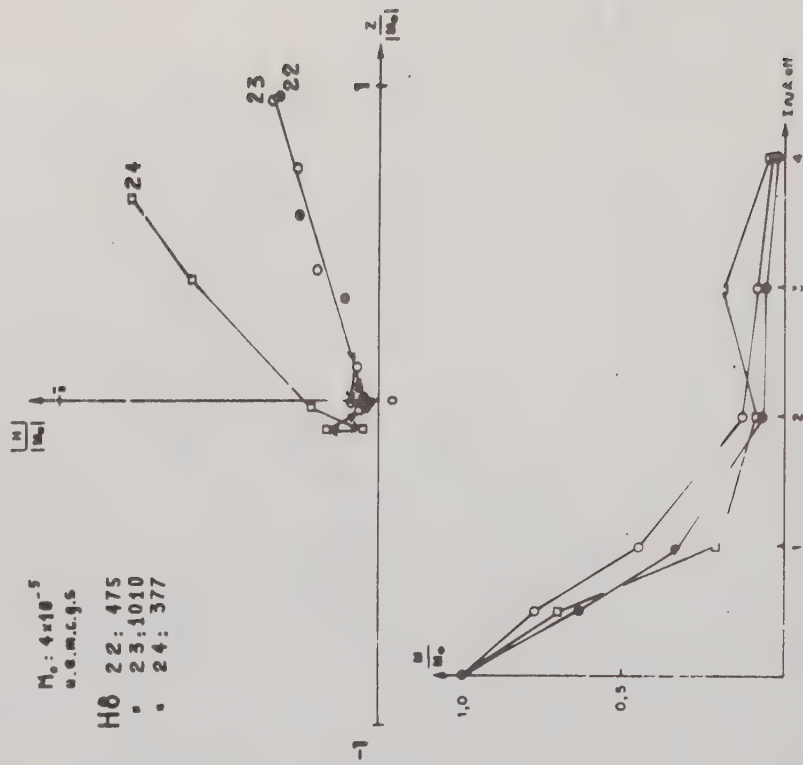
H07-03: 1045
06: 241
08: 171
09: 103
10: 19
11: 58



COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS DU SITE 3



COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS DU SITE 7



. Un groupe à aimantation naturelle de sens normal mais pratiquement détruite par l'action d'un champ alternatif de 300 Oersted et de direction variable (fig. 160).

(β) Répartition géographique des types d'aimantation :

Il est curieux de constater que les types d'aimantation ne se répartissent pas au hasard.

- Les aimantations inverses résistantes se rencontrent à l'Est du massif. Dans l'ancienne carrière d'Herbillon (site 1) l'inclinaison est comprise entre -46° et -73° . Sous le cimetière européen l'inclinaison est faible (-2° à -10°).

- Les blocs porteurs des moments les plus faibles proviennent de la carrière actuellement exploitée (site 2) et de celle du site 3 encore récemment en exploitation. (Les inclinaisons sont faibles $+10^{\circ}$ à -21° .)

- Les aimantations de sens normal relativement fortes à l'état naturel mais détruites par des champs alternatifs de 300 Oersted caractérisent la partie Ouest du massif (sites 3, 4, 5, 6, 14). Les inclinaisons sont fortes au début de la désaimantation ($+63^{\circ}$ à $+80^{\circ}$).

(γ) Essai de conclusion :

Sur la base des résultats acquis il est difficile de tirer des conclusions définitives.

Toutefois nous pensons que :

- Les aimantations inverses rencontrées sur la partie orientale du massif sont probablement des aimantations acquises lors du refroidissement de la roche.

- Les aimantations normales peu résistantes sont essentiellement visqueuses, donc non caractéristiques, mais nous devons noter les faits suivants :

. Ces aimantations, qui se rencontrent dans des zones d'affleurement soumises depuis un temps relativement court à l'altération par les agents atmosphériques, n'apparaissent qu'à l'Ouest du massif alors que les roches placées dans les mêmes conditions à l'Est du massif se comportent de façon différente. Cette répartition peut-être due :

- A une ATR originelle différente. Si à l'Ouest l'intensité d'aimantation acquise pendant le refroidissement est plus faible, l'influence de l'aimantation visqueuse peut devenir prédominante. Cette interprétation pourrait s'appuyer sur le fait que dans les sites 2 et 3 où les roches sont fraîches, l'aimantation naturelle est très faible.

- A une composition minéralogique des minéraux magnétiques variable d'une zone à l'autre du massif. En effet, J. HILLY (1957, p. 263) signale que les oxydes métalliques se trouvent dans les amphiboles mais peuvent constituer parfois un élément essentiel de la roche. Il insiste, par ailleurs, sur les phénomènes d'altération plus ou moins intenses qui affectent souvent ces diorites qui paraissent pourtant fraîches. Il signale aussi que les altérations hydrothermales entraînent des variations de faciès dans la roche. L'aimantation visqueuse rencontrée à la périphérie du laccolithe pourrait être mise en relation avec ces actions hydrothermales très apparentes à la périphérie des intrusions.

La question posée ne pourrait être tranchée que par l'exécution d'une série de prélèvements systématique et une analyse détaillée des minéraux magnétiques. Toutefois, l'existence de niveau à faible inclinaison dans les zones à faciès andésitique sous le cimetière européen peut faire envisager la possibilité d'une variation de la direction du champ terrestre au cours du refroidissement du laccolithe. Mais là encore une série de prélèvements systématiques s'imposerait.

Une étude détaillée de ces intrusions pourrait donc apporter d'utiles précisions sur les causes de la viscosité magné-

tique.

En résumé : Les parties internes des intrusions dioritiques qui sont actuellement accessibles présentent une aimantation inverse. Les zones périphériques peut-être marquées par l'existence d'une aimantation inverse de faible inclinaison, sont affectées par les altérations pneumatolitiques et hydrothermales qui sont sans doute responsables du développement des minéraux porteurs d'aimantation visqueuse. La dispersion observée dans la déclinaison entre les sites inverses semble devoir être reliée à des phénomènes d'anisotropie comme l'ont montré les mesures d'anisotropie réalisées sur les intrusions du Massif de Cavallo.

c) Groupe microgranitique :

α) Microgranite II du Djebel Mzilha :

Sites 10 à 13 (fig. 145) 18 prélèvements (Série H₉ pro parte).

Les aimantations naturelles sont du même ordre de grandeur que celles des microdiorites et des diorites. L'aimantation visqueuse est prédominante (le plus souvent $\frac{M_{300}}{M_0} = 0,100$).

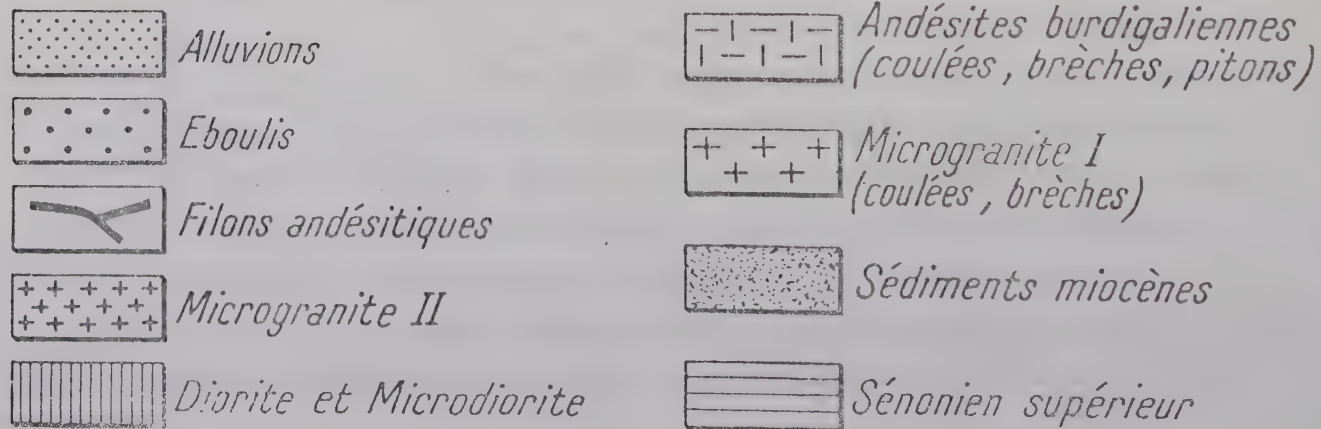
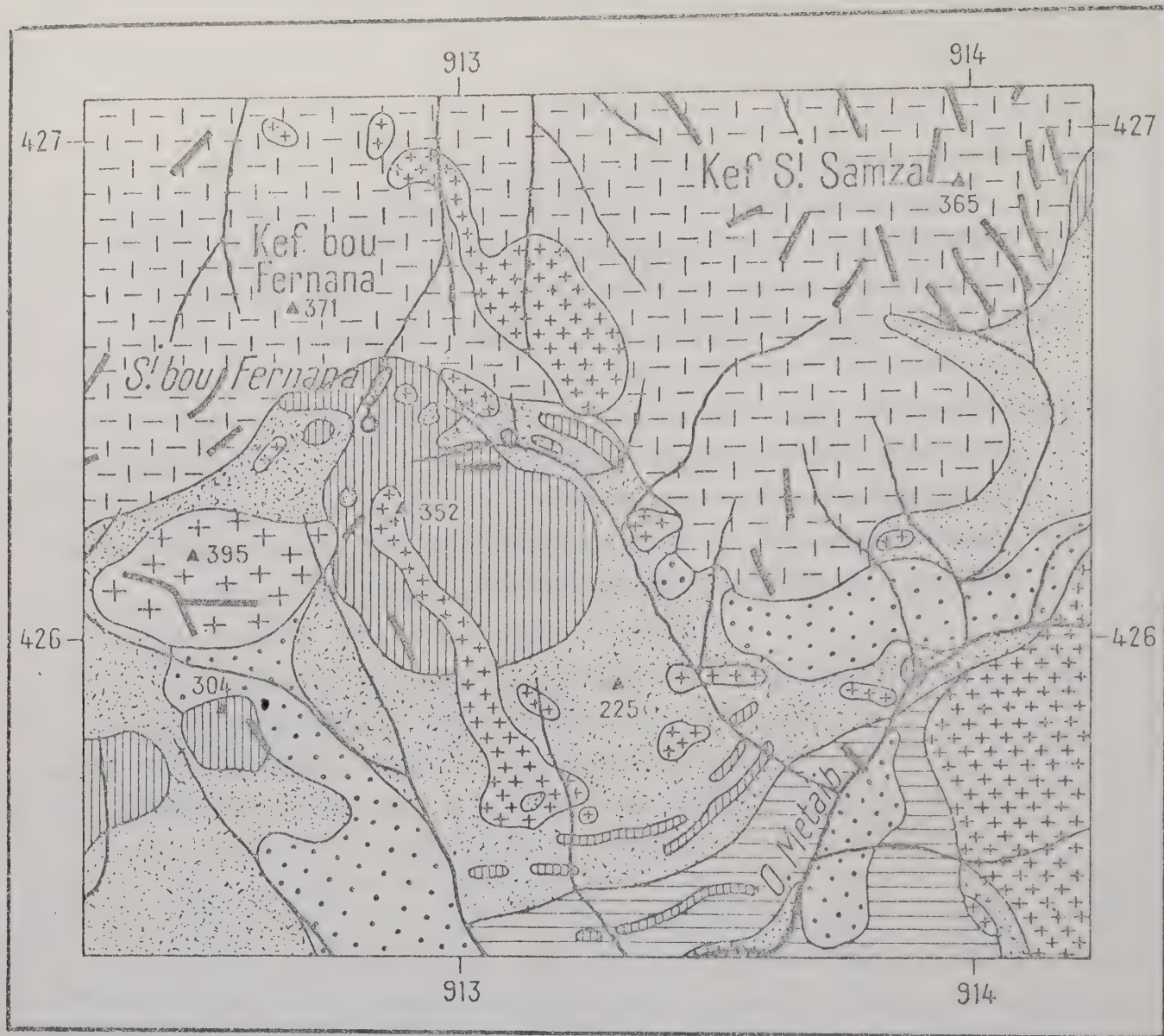
Toutefois, dans certains cas il semble que l'on atteigne l'aimantation thermorémanente.

L'ensemble de la formation prospectée aurait une aimantation normale. Mais la dispersion des déclinaisons est trop grande pour pouvoir déduire une conclusion valable quant à la direction de cette aimantation.

β) Les microgranites près du Marabout de Sidi Bou Fernana. Site H₁₁ (14 - 16).

La région paraissait favorable, en raison de sa structure (fig. 161) pour étudier les aimantations des diverses unités.

Malheureusement la zone est caractérisée par la présence, quasi générale, d'aimantation visqueuse quel que soit le type de roche étudié. Sur 16 échantillons prélevés, 6 seulement permettent une analyse. Nous noterons à ce sujet que, comme le montre la fig. 161, la région est particulièrement affectée par les intru-



— Carte géologique des environs du marabout Sidi bou Fernana
(d'après J. HILLY 1957)

COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE H11 (01_02)

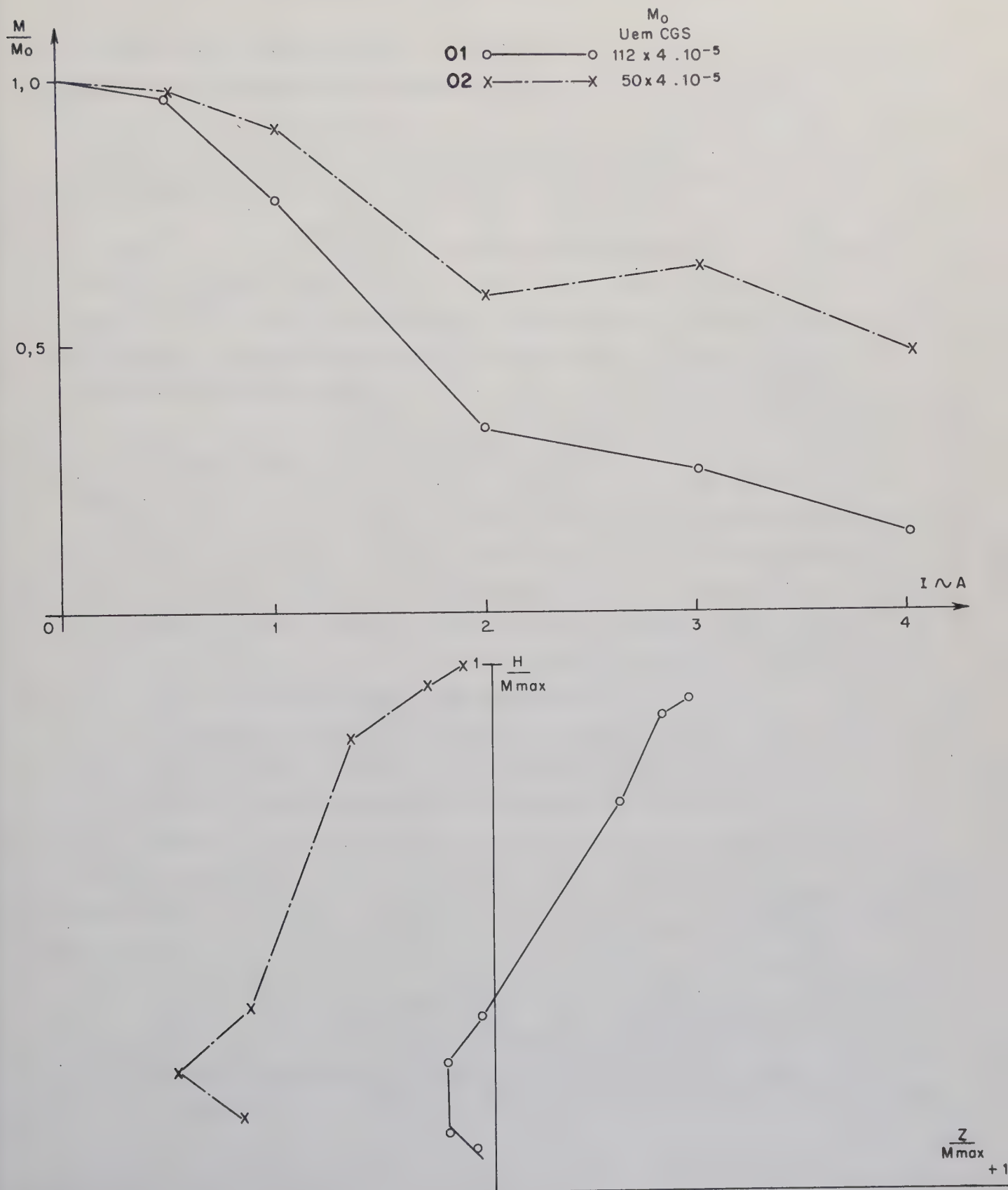


Fig. 162

sions de toute nature. Les apports hydrothermaux y sont très importants ce qui explique probablement la prédominance des aimantations visqueuses.

Parmi les échantillons qui sont utilisables, deux H_{11} (1 - 2) proviennent des microgranites I, deux des microgranites II (H_{11} 15 - 16).

Les aimantations des échantillons H_{11} (1 - 2) sont faibles mais résistent assez bien à l'action des champs alternatifs (fig. 162), et l'aimantation rémanente dure semble être inverse. Toutefois, nous ne pouvons rien conclure de valable quant à la direction de l'aimantation par suite du nombre réduit d'échantillons.

Le même phénomène se produit dans les échantillons H_{11} (15 - 16) où une aimantation résistante commune aux deux échantillons semble apparaître. Sa direction anormale (inclinaison positive, déclinaison supérieure à 90° W) correspondrait à un pôle situé près de l'hémisphère Sud. Mais étant donné la petite taille de l'intrusion nous pouvons craindre, comme à Cavallo l'influence de l'anisotropie.

d) Synthèse des résultats :

Si dans certaines laves du groupe andésitique il est possible d'envisager l'existence d'aimantations thermorémanentes, les intrusions de microgranites et de microdiorites se prêtent généralement assez mal aux études paléomagnétiques. Seule la partie centrale des laccolites de microdiorites (ancienne carrière d'Herbillon) et la pellicule extérieure à faciès de roche volcanique (Fontaine romaine) peuvent donner des indications valables sur le sens de l'aimantation (inverse). Par contre la direction ne peut pas actuellement être définie avec précision.

En ce qui concerne les microgranites, il est impossible de conclure. Nous pouvons simplement envisager que les micrograni-

tes I se seraient mis en place pendant une période de champ inverse tandis que les microgranites II seraient contemporains d'une période de champ normal.

Les andésites, quant à elles semblent recouvrir trois périodes de champ terrestre.

2) Le Cap de Fer (sensu stricto).

La structure géologique est résumée par les coupes de la figure 163.

Lors de notre séjour au phare du Cap de Fer, en septembre 1966, nous avons effectué une série de prélèvements sur tous les types de roche.

Notre effort avait surtout porté sur les points suivants :

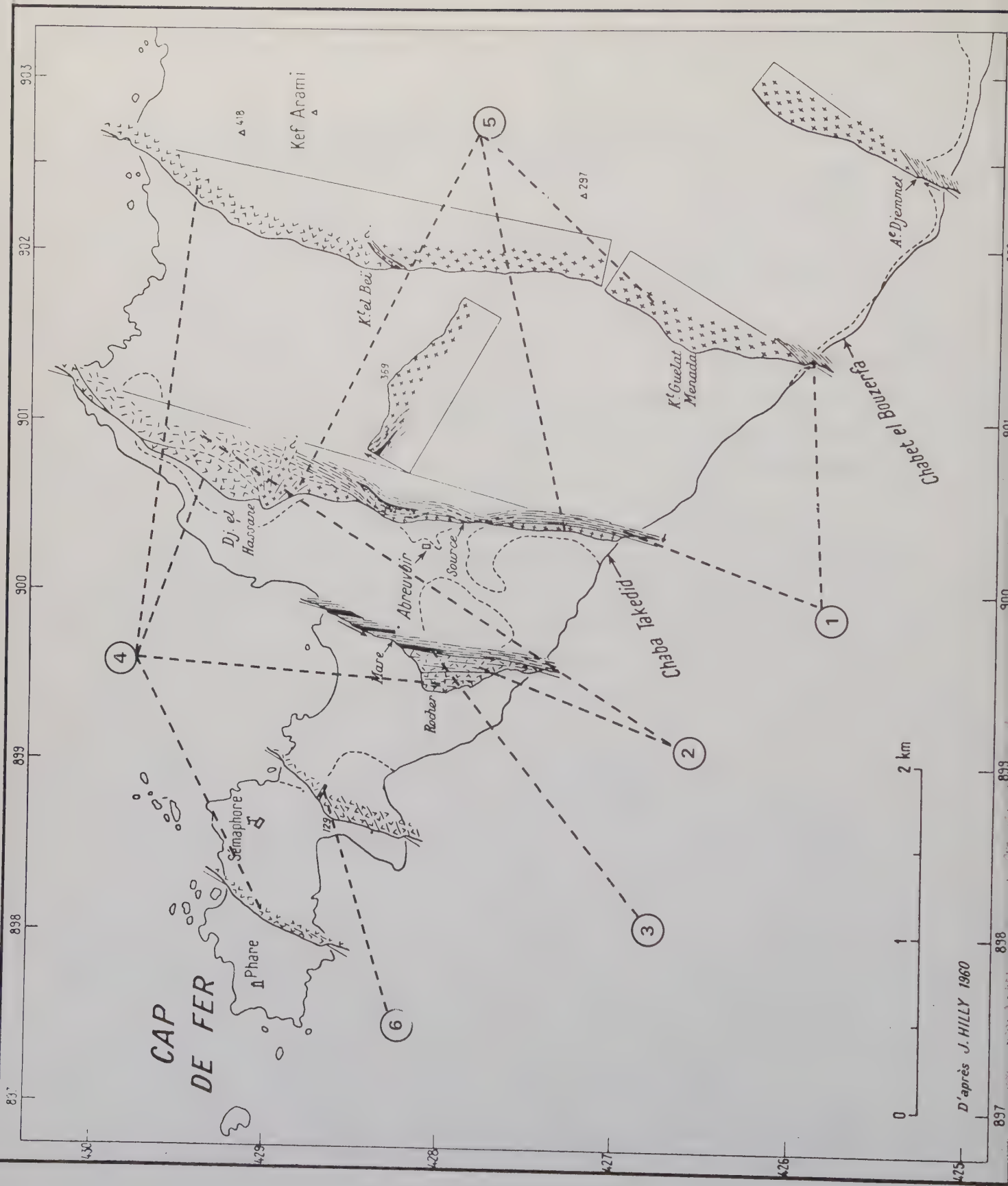
- Le microgranite II qui affleure au Sud du Rocher, sous le laccolite du microgranite II entre Aïne Djemmet et le Chaba Takedid.

Malheureusement les prélèvements, dont les moments magnétiques sont très faibles, ne permettent pas de tirer des conclusions sur la nature de l'aimantation.

- Le laccolite de microgranite II qui forme la masse importante du Kouat el Bei avait été échantillonné à divers niveaux : 16 échantillons prélevés près de la semelle (8 au-dessus du microgranite I à l'Ouest du Rocher, ^{Photo 20} 8 au niveau de l'abreuvoir) et 16 prélèvements près du toit (8 au Kouat Guelat Menada, 8 près du Kouat el Bei). Partout l'aimantation est faible et essentiellement d'origine visqueuse.

- Les brèches de microgranite II qui forment le substratum du sémaphore où elles sont associées à des tufs et des cinérites sont aussi peu utilisables que les brèches de microgranite I interstratifiées dans la série sédimentaire burdigalienne.

- Les microdiorites avaient attiré notre attention et nous avons fait une série de prélèvements dans les sills (Photo 21) qui traversent les dépôts burdigaliens entre la plage de Aïne el Akba et l'abreuvoir (coupe Rocher-inare de la figure 163). Ce sont à peu



Légende Figure 163

Coupes géologiques montrant la structure
du Massif du Cap de Fer

- 6 - Andésites filoniennes terminales.
- 5 - Microgranite II.
- 4 - Brèches et tufs microgranitiques II.
- 3 - Diorite et Microdiorite.
- 2 - Andésite burdigalienne.
- 1 - Sédiments burdigaliens.



Photo n° 20 - La semelle du laccolithe de
microgranite II sur le
Flanc Occidental du Rocher
du Cap de Fer.

Série - Nature	B	N _p	N _m	I _R	D _R	R	k	α ₉₅
AF 17(12-15) α	1	4	4	+70°30	18°30W	3,97	94	9°30
AF 17(16-18) α	1	3	2	+26°	150°W	1,94	-	-
AF 17(19-21) α	1	3	2	+19°	157°W	1,99	-	-
Après correction de Pendage								
AF 17(22-25) α Après correction de Pendage	1	4	3	+23°	122°W	2,92	24	25°
AF 17(26-28) δ	1	3	3	+13°	111°W	2,86	15	34°
AF 17(9-11) δ	1	3	3	-22°	96°30W	2,95	43	18°30
AF 17(29-30) δ	1	3	1	+12°	105°W	1	-	-
AF18 (1- 3) δ	1	3	3	+13°30	112°30 _W	2,93	29	23°30
AF 18(4- 6) δ	1	3	0	-	-	-	-	-
AF 18(7 -10) δ	1	4	2	+17°	121°30 _W	2	-	-
AF 18(14-17) δ	1	4	4	-15°	121°W	5	3,44	43°30
AF 18(18-20)	Auréole de métamorphisme - Non mesurable.						-	-
AF 18(21-25) δ	1	5	0	Aimantation visqueuse			-	-
Résultante Diorites	6	20	16	+3°30	111°30W		5,72	

B = Nombre de site - N_p = Nombre d'échantillons prélevés -
 N_m = Nombres d'échantillons mesurables
 α = andésites - δ = microdiorites

TABLEAU VII

Directions d'aimantations
 des andésites et Diorites du Cap de Fer (Algérie)

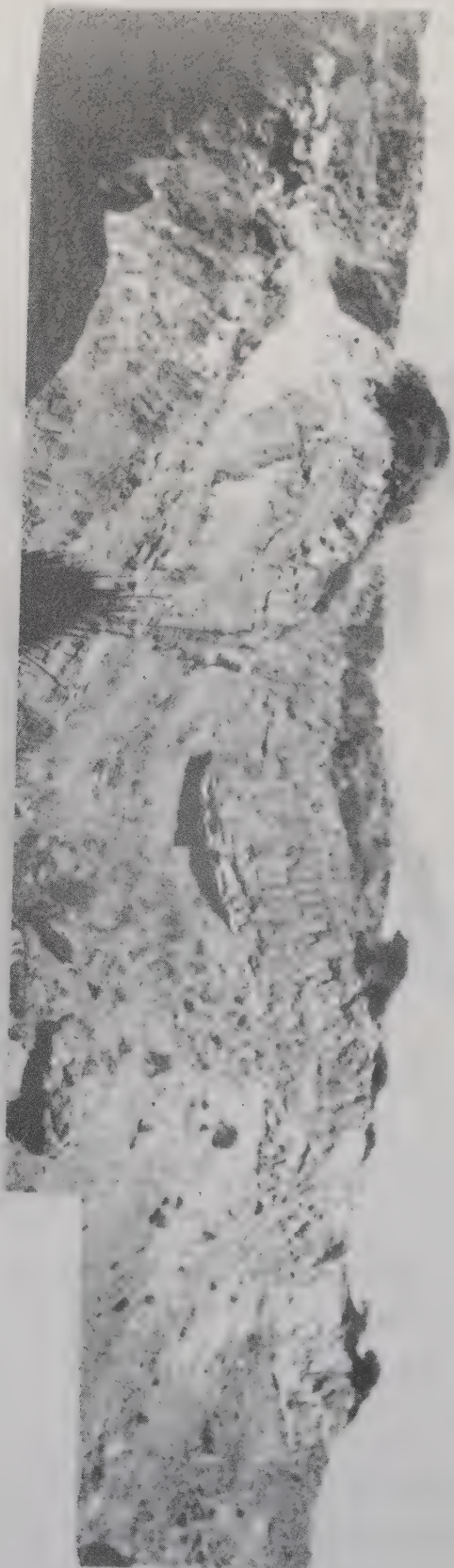


Photo n° 21 - Un sill de microdiorite au Nord
de l'Abreuvoir du Cap de Fer.

près les seuls éléments d'où nous puissions tirer des renseignements (Tableau VII). Les aimantations apparaissent de bonne qualité fig. 164. Les directions sont cohérentes et correspondent à des aimantations inverses par la déclinaison mais de faible inclinaison (voisine de zéro). Nous devons noter que nous retrouvons des directions proches de celles rencontrées à la périphérie du laccolite de microdiorite d'Herbillon (Fontaine Romaine). Mais, alors qu'à Herbillon nous avons des résultats incertains, ici les données sont plus précises et de meilleure qualité. Il est difficile d'impliquer l'anisotropie pour expliquer la direction anormale des aimantations. Il nous semble plus logique d'admettre que la direction de l'aimantation traduit celle du champ terrestre existant au moment de la mise en place. Mais cette direction diverge nettement de celle d'un champ moyen.

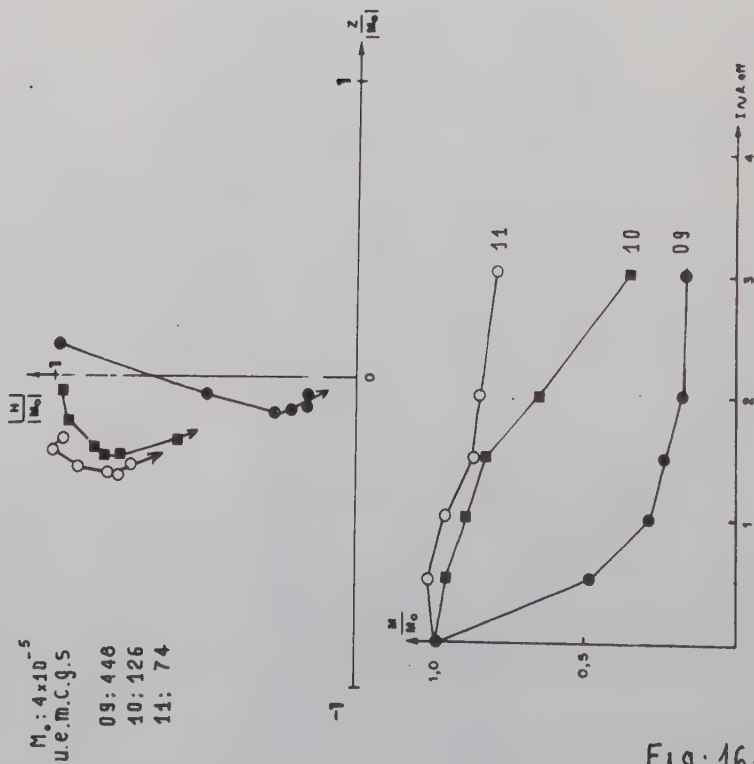
Remarque : Les affleurements de la plage de Aïne el Akba AF 18 (21-25) et de la pointe rocheuse au Sud-Est du Rocher AF 19 (16-19) donnent des directions très dispersées, mais l'aimantation visqueuse est très importante et on peut craindre qu'elle ne soit pas complètement détruite.

- Les andésites interstratifiées dans le Burdigalien : quelques coulées d'andésites ont été étudiées. Elles portent des aimantations normales caractéristiques de la formation. En effet les coulées déformées que l'on rencontre près du Col au-dessus de l'Abreuvoir donnent, après la correction de pendage (Tableau VII) des directions d'aimantation cohérentes avec celles des coulées non déformées.

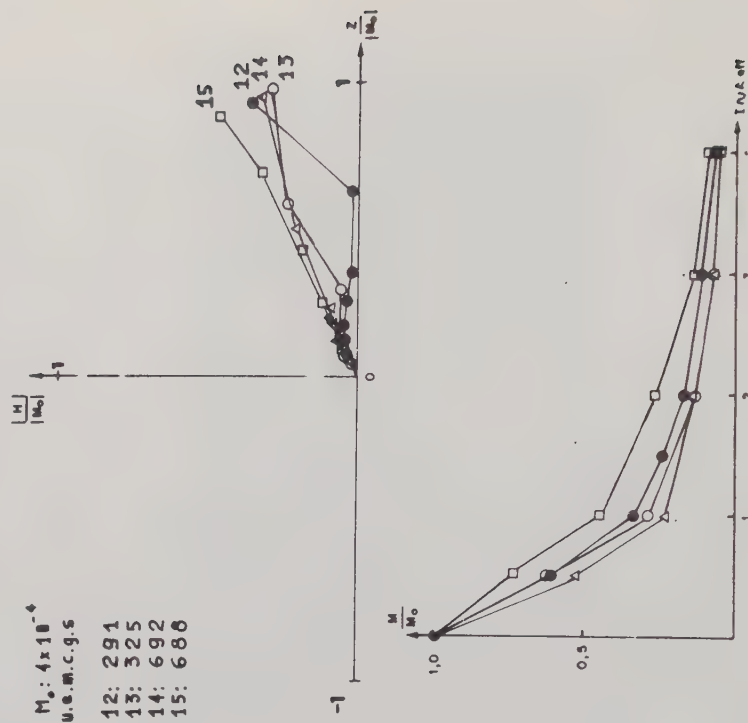
3) En résumé :

Dans l'ensemble Cap de Fer - Cap Tekouch, les aimantations de microgranites I et II sont essentiellement visqueuses. Les microdiorites présentent des ATR inverses. Mais alors que le coeur du laccolite d'Herbillon est caractérisé par une inclinaison

- COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS AF 17(09-10-11)



- COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS AF 17(12-15)



forte, la carapace superficielle et les sills du Cap de Fer semblent caractérisés par une faible inclinaison.

Les andésites d'Herbillon présentent des aimantations inverses à la base et au sommet de la série mais un niveau à aimantation normale s'intercale peut-être dans les niveaux moyens. Au Cap de Fer nous n'avons trouvé que des aimantations normales.

Nous voyons donc que les conclusions que nous pouvons tirer de cette reconnaissance sont très réduites, puisque la seule conclusion ferme que nous puissions déduire est la suivante : avant d'entreprendre l'étude détaillée d'un problème précis par la méthode paléomagnétique il est nécessaire de faire une reconnaissance préalable des propriétés magnétiques du matériel disponible dans la zone considérée, c'était, en fait, le but de notre campagne 1966. La conclusion logique d'un tel travail est l'établissement d'un programme de prélèvements pour une étude ultérieure.

Dans notre cas précis ce programme serait le suivant :

1) Nos prélèvements montrent que les affleurements superficiels de Microgranite I et II sont porteurs d'aimantation visqueuse. L'existence de cette aimantation est peut-être due à l'action des agents atmosphériques. Si cela est, on peut penser que des prélèvements effectués à l'aide d'une foreuse dans les carrières permettront d'atteindre des niveaux moins altérés : c'est la seule technique susceptible, à notre avis, de fournir des échantillons porteurs d'ATR.

2) En ce qui concerne les microdiorites et les diorites trois problèmes méritent d'être étudiés :

a) Des prélèvements sériés dans le laccolite d'Herbillon sont susceptibles de donner des indications précises sur les causes de l'aimantation visqueuse et leurs liaisons avec les actions pneumatolitiques et hydrothermales.

b) La même série de prélèvements permettrait de confirmer ou d'infirmer l'existence d'une "zonation" des directions d'ATR due à la

variation du champ terrestre au cours du refroidissement du laccolite et l'influence des phénomènes d'anisotropie.

c) Nous avons souligné le parallélisme existant entre les directions d'aimantation des sills de microdiorite du Cap de Fer et le toit du laccolite d'Herbillon. Il serait intéressant de confirmer ce parallélisme par une étude détaillée. En effet, étant donné la dynamique du volcanisme de cette zone, nous aurions un argument sérieux en faveur d'un synchronisme étroit dans la mise en place de ces roches.

3) Enfin dans les andésites il serait souhaitable de confirmer l'existence du niveau normal médian.

Pour des raisons administratives et matérielles nous n'avons pas pu exécuter ce programme qui était prévu en 1968 et 1969.

Par contre, dans le Massif de Cavallo, l'étude préalable que nous avons faite a pu être poursuivie par C. ROBIN et nous allons voir qu'elle apporte des résultats intéressants.

II) LA KABYLIE DE COLLO ET LE MASSIF DE CAVALLO :

1) Kabylie de Collo :

Le tableau ~~VIII~~ montre que, mis à part la carrière du Kouat Ougerba au Nord de Catinat (Echantillons C 26 - 01 à 05) à aimantation inverse, les données sont très disparates et qu'il est difficile de tirer des conclusions en ce qui concerne la Kabylie de Collo. En particulier les rhyolites du Kef Cheraïa très faiblement aimantées ne nous ont pas permis d'effectuer des mesures précises.

2) Massif de Cavallo :

Les échantillons que nous avons prélevés ont été étudiés par C. ROBIN (1970). Dans une note préliminaire (C. BOBIER, C. ROBIN, 1969) nous avons donné l'essentiel des résultats. Le tableau ~~VIII~~ donne l'ensemble des données recueillies. C. ROBIN a discuté ces résultats dans l'étude d'ensemble du Massif de

Localité	Roche		I	D
Kef Cheraïa près Collo 35 échantil- lons prélevés	Coulée rhyolitique terminale	Ac 27-18 19 20	+9° -1° 0°	10°W 39°W 114°W
	coulée rhyolite la précédente	Ac 27-17	-40°	21°W
	coulée moyenne rhyolite	Ac 27-23 Ac 27-22	-10° + 1°	90°E 12°E
	Dyke rhyolite .	Ac 27-07	+30°	45°E
Collo (35 échantillons)	Microgranite	n é a n t		
Kouat Ougerba près Catinat	Microgranite	01 02 Ac 26-03 04 05 Résultante k = 48	-24° -27° -20° -18° -20° -22° R = 4,92	144°E 140°E 138°E 167°E 141°E 146°E $\alpha_{95}=11^\circ$
entre Catinat et Collo	Microgranite 35 échantillons	n é a n t		

TABEAU VIIIa

Résultats en Kabylie de Collo



Figure . 165 - Localisation des prélèvements paléomagnétiques dans le Massif de Cavallo.

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 - éboulis et alluvions | 2 - dômes intrusifs périphériques. |
| 3 - matériel volcanique | 4 - terrains sédimentaires |
| 5 - A5 - site paléomagnétique A5 - | 6 - m - mines. |

(d'après C. BOBIER - C. ROBIN, 1969)

Cavallo qu'il a réalisée (C. ROBIN, 1970). Nous donnerons ici les résultats essentiels de l'analyse magnétique que nous avons faite en commun.

Auparavant nous rappellerons, très rapidement, la structure géologique du massif dont les grands traits ont été définis par les travaux de FLAMAND et CURIE (1889), (L. GLANGEAUD 1935, M. DURAND-DELGA, J. MAGNE, L. GLANGEAUD et G. TAYEB 1953). Plus récemment J. GLACON (1968) et surtout C. ROBIN (1970) ont précisé le schéma structural.

Les formations volcaniques actuellement visibles traversent ou recouvrent un substratum formé de dépôts d'âges variés (Crétacé, Nummulitique et Miocène inférieur). Ce substratum a été tectonisé et charrié au Miocène. L'âge du volcanisme est donc essentiellement miocène. Les premières éruptions ont dû se produire au Burdigalien supérieur.

Ces formations seraient donc contemporaines du complexe volcanique Herbillon Cap de Fer et peut-être, en partie, des éruptions antéhelvétiques Sardes.

Les roches que nous avons analysées appartiennent à deux ensembles géologiquement bien distincts :

- a) Un ensemble central qui est formé essentiellement de coulées, de brèches et de filons andésitiques et dacitiques. Les coulées et les brèches avaient été subdivisées en deux séries : une série basale dite de BOUSOUFA et une série supérieure dite de PORT-MARIA.
- b) Une collerette d'intrusions de microgranodiorites qui entoure le complexe central.

C. ROBIN (1970) considère que la stratigraphie est la suivante :

Phase intrusive et effusive terminale : collerette extérieure.

Si- tes	Nbre site	Nbre éch.	Direction de l'Aimantation					Position du Pôle			
			I _R	D _R	R	K	α 95	λ _p	φ _p	δ _p	δ _m
A 1	1	6	+48°30								
A 2	1	6	+57°	2° E	5,882	43	4°				
A 3	1	3	+50°	1° W	2,999	2000	2°30				
A 4	1	3	+54°30	6° E	2,996	500	6°				
A 5	1	3	+55°	2° E	2,990	200	8°30				
A 6	1	7	+53°30	3°30E	6,975	240	4°				
A 7	1	3	+56°30	0°30E	2,999	2000	2°				
A 8	1	5	+56°30	4° E	4,710	68	21°				
A 9	1	2	+54°30	2° E	1,997	333	13°30				
A10	1	3	+56°	4° W	2,997	666	4°30				
A11	1	5	+56°30	1°30W	4,996	1000	2°30				
A12	1	5	+55°	1°30E	4,994	1008	3°				
A13	1	4	+51°30	13° E	3,998	1500	2°30				
A14	1	2	+48°	17°30W	1,999	1000	7°30				
Ré- sult.											
A 2 A14	13	51	+54°30	1°10E	12,946	3681	2°20	88° N	153°30E	2°20	3°17
A15	1	1	+59°30	21° E	-	-	-				
A16	1	3	+60°	22° E	-	-	-				
A17	1	2	+60°	30° W	-	-	-				
	1	1	+61°								
A18	1	4	+67°	11°30W	3,996	750	4°				

Si- tes	Nbre site	Nbre éch.	Direction de l'Aimantation					Position du Pôle			
			I _R	D _R	R	K	α 95	λ _p	φ _p	δ _p	δ _m
B 1	1	4	+19°30	11° W	3,982	166	7°	61°30N	155° W	4°	7°30
B 2	1	3	+31°30	19°30W	2,994	333	7°	63°30N	132° W	6°	8°
B 3	1	6	+45°30	20°30W	5,859	36	6°	70° N	111°30W	5°	7°30
B 4	1	3	+25°30	27° E	2,993	286	7°30	56° N	128°30E	4°30	8°
B 5	1	3	+37°30	29°30E	2,748	8	42°	60° N	115°30E	29°	50°
B 6	1	3	+26°	86° E	2,953	43	18°	11°30N	83° E	10°30	19°30
B 7	1	4	+31°	88° W	3,917	36	14°	11°30N	76° W	9°	16°
B 8	1	6	+67°	18° W	5,987	385	3°30	71°30N	38°30W	5°	6°
=====											
C1+	2	13	-67°	118° W	12,790	58	5°30				
C2											
C 3	1	4	-50°	176° W	3,870	24	19°				
C 4	1	4	-55°30	166°15E	3,997	860	3°				
C 5	1	7	-62°	104°30W	6,960	163	4°30				
C 6			Présence d'A R I (aucune signification)								
C 7			Présence d'A R I								
C 8	1	2	-55°30	53° W	1,99	9950	2°30				
C 9	1	3	-56°30	99° W	2,99	620	5°				
Ré- sult. C	6	33	-72°30	59°30E	5,92	71	8°	57°	55°30W	32°	36°
=====											
C10	1	2	-51°	173° W	Moyenne arithmétique						

Tableau VIII b

	{ Filons dacitiques et andésitiques
	{ Premières "intrusions" à faciès andésitiques et
Ancienne	{ microdioritiques.
Série de	{ Série de Port-Maria sup. Tufs et coulées dacitoïdes
Port-Maria	{ Série de Port-Maria sens strict Tufs et coulées daci-
	{ toïdes.
Ancienne	{ Série Harouda Oued el Kébir Andésites
Série de	{ Série intermédiaire
Bou Soufa	{ Série de Bou-Soufa sens strict - Andésites, dacites.

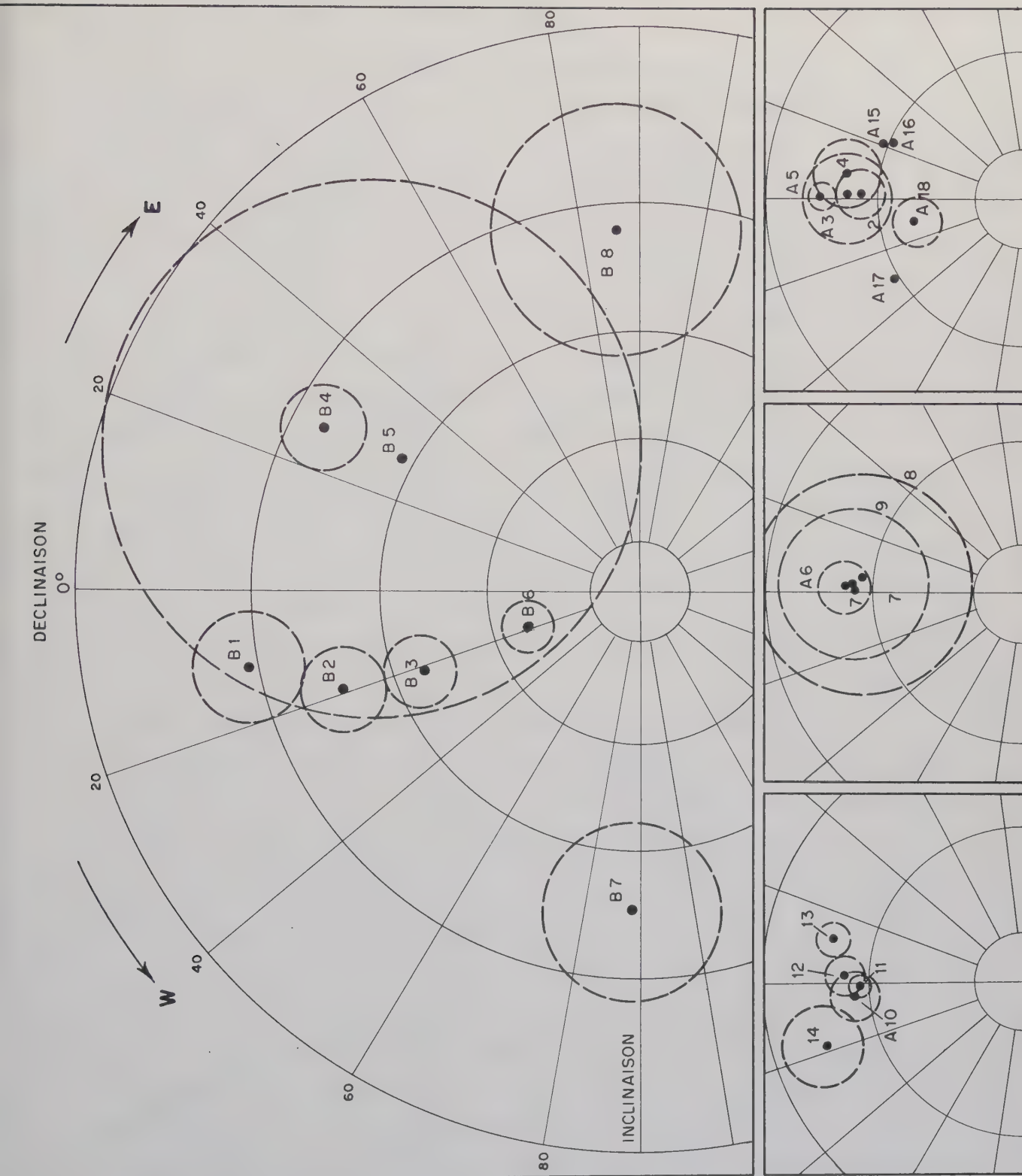
Tout le massif de Cavallo a été fracturé et érodé au pliocène et au quaternaire.

Sur la figure 165 établie par C. ROBIN (1970) et qui schématise la structure que nous venons d'évoquer, sont reportées les positions des sites où nous-mêmes, en 1966, puis C. ROBIN en 1968 et 1969, avons pu prélever les 170 échantillons dont les propriétés magnétiques ont été analysées.

Les sites C₁ et C₉ sont situés dans des intrusions de microgranodiorites qui forment l'auréole périphérique. Le reste des échantillons provient essentiellement des roches à faciès volcanique qui forment la partie centrale du massif. Toutefois 4 sites correspondent à des formations plus ou moins intrusives qui affleurent à la limite extérieure des formations volcaniques franches.

Les résultats des mesures paléomagnétiques sont consignés dans le tableau VIIIb et les figures 166 à 170. Une étude rapide montre que la répartition des directions moyennes d'aimantation permet de regrouper les formations étudiées en quatre ensembles.

- 1) Dans les sites A₁ à A₁₇ l'aimantation est de sens normal. Les directions des aimantations sont cohérentes dans les sites et les directions moyennes sont



PROJECTIONS STEREOGRAPHIQUES DES DIRECTIONS CORRESPONDANT AUX SITES_A-ET_B-

très proches les unes des autres.

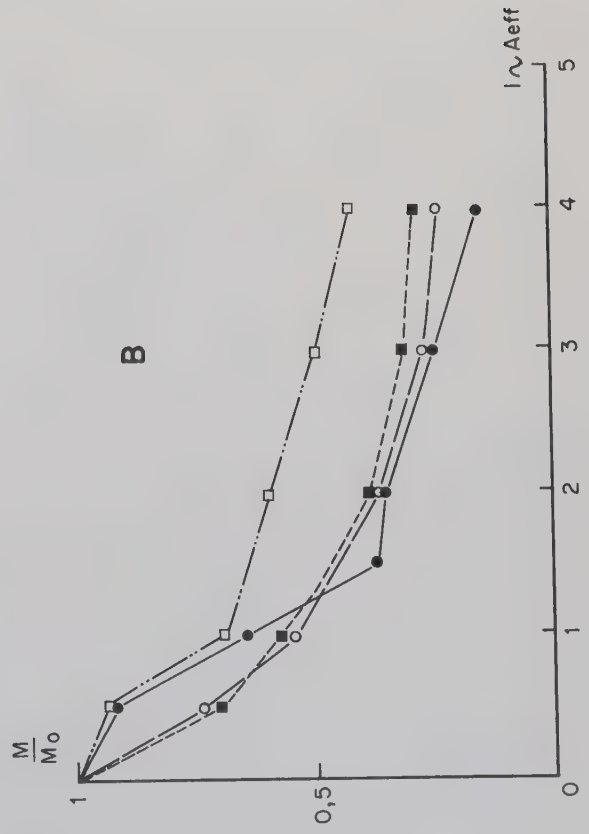
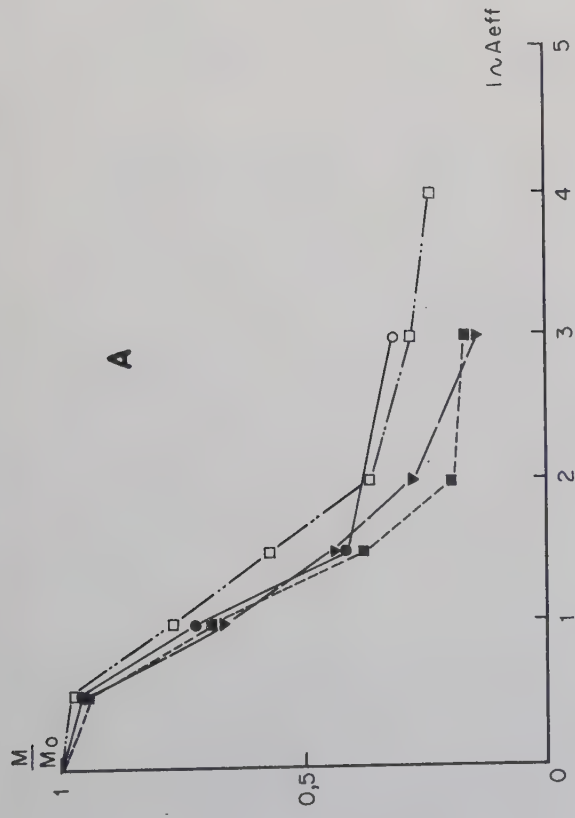
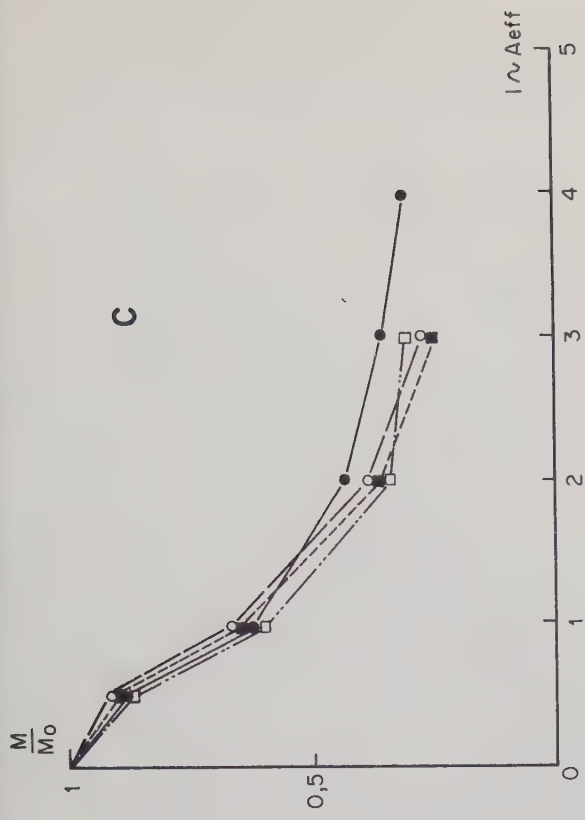
- 2) Dans les sites B_1 à B_8 l'aimantation est aussi de sens normal et les directions d'aimantations sont généralement cohérentes dans les sites. Par contre les directions moyennes sont très dispersées.
- 3) Dans les sites X_1 , X_2 et X_3 les aimantations sont faibles ou incohérentes.
- 4) Enfin dans les sites C_1 à C_9 les aimantations résistantes sont inverses et présentent des caractères très particuliers sur lesquels nous devons revenir.

Le découpage ainsi obtenu a probablement une signification stratigraphique* puisque la majeure partie des intrusions microgranodioritiques s'opposent, par le sens de leur aimantation, à l'ensemble des formations à faciès volcanique. Ce premier résultat était apparu à la lecture des mesures effectuées sur les 50 premiers échantillons que nous avons recueillis en 1966. Il a orienté les campagnes de prélèvements complémentaires réalisées par C. ROBIN.

L'ensemble des résultats montre que, dans le cas de Cavallo, l'apport du paléomagnétisme ne se limite pas à distinguer un groupe à aimantation inverse d'un ensemble à aimantation normale. En effet, une étude détaillée des affleurements permet de constater que les groupes A, B et C définis paléomagnétiquement* correspondent chacun soit à des roches d'un type pétrographique déterminé soit à des formations stratigraphiquement semblables. Nous allons étudier chacun de ces groupes.

a) Les sites A_1 à A_{17} . Ils sont, en majeure partie, situés sur des coulées du complexe central. Toutefois, quelques-uns correspondent à des affleurements dont la forme exacte est difficile à définir avec certitude (coulées ou intrusions ?). La série de BOU-SOUFA au sens strict ne permet pas d'études. Les formations échantillonnées appartiennent aussi bien à la série moyenne de

* La numération A-B-C a été établie d'après les résultats de l'analyse magnétique, sans tenir compte ni de la numération originale, ni de la nature des échantillons étudiés.



COURBES DE DESAIMANTATION

A - site A 11

B - site A 13

C - site A 6

BOU-SOUFA (A13) qu'à la série de HAROUDA OUED el KEBIR (A14) ou à celle supérieure A15 et A16. Il est assez surprenant que des coulées dépendant de formations qui semblaient à priori d'âges différents présentent des directions d'aimantation aussi remarquablement cohérentes. Pour interpréter cette faible dispersion entre les directions moyennes, nous pouvons rechercher des hypothèses de deux types :

- a) Le premier groupe rassemble les interprétations faisant intervenir des phénomènes aboutissant à une homogénéisation des aimantations. Les aimantations rémanentes mesurées ne correspondraient pas à l'ATR originelle.

L'homogénéisation des directions d'aimantation peut-être liée à l'acquisition d'ATR secondaires, d'ARV ou d'ARC.*

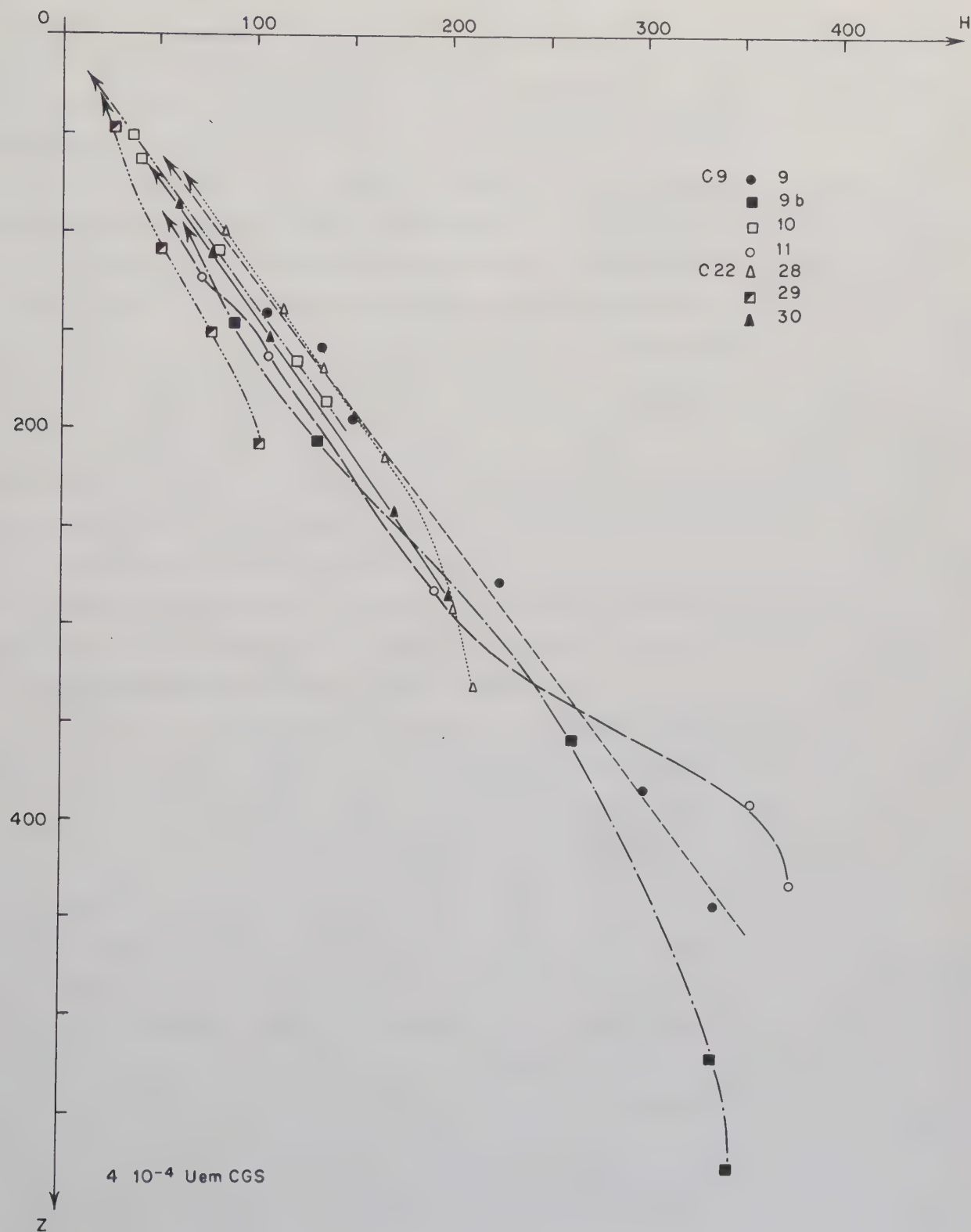
- L'intervention des ATR secondaires est à exclure car pour aboutir à l'homogénéité observée, il faudrait admettre un réchauffement très important de l'ensemble du Massif qui est impossible.

- Les graphiques de la figure 167, montrent que les aimantations visqueuses ne semblent pas jouer un rôle prédominant. Ce fait est confirmé par les mesures de taux de viscosité effectuées par la méthode de E. THELLIER. Les taux obtenus, pour une durée d'exposition de 60 jours, s'échelonnent entre 3 et 25 % mais la majeure partie est voisine de 10 %. De plus les désaimantations effectuées après ces tests prouvent qu'il est difficile d'invoquer l'existence d'ARV résistantes à l'action des champs alternatifs. Nous pouvons donc valablement conclure que la faible dispersion des directions moyennes d'aimantation n'est pas liée à l'influence des aimantations visqueuses.

* Les ARC sont concevables si l'on considère que des minéralisations, liées aux dernières manifestations de l'activité volcanique, apparaissent çà et là dans le massif.

COURBES DE DESAIMANTATION DES ECHANTILLONS DU SITE A 6

D'après C. ROBIN 1970



- La valeur de l'intensité des moments rémanents et l'aspect des courbes de désaimantation (fig. 167 et 168) montrent que les aimantations mesurées présentent les caractères d'ATR *douces* : intensité moyenne, décroissance rapide du rapport $\frac{M}{M^0}$ mais apparition d'un palier en fin de désaimantation, directions constantes et cohérentes pour l'ensemble des échantillons d'un site. Ces caractères rendent peu probable l'existence d'ARC.

Il semble donc logique de rejeter l'éventualité d'une homogénéisation des aimantations rémanentes.

β) Dans le second type d'hypothèses, les aimantations rémanentes mesurées, correspondent bien à des ATR originales, mais l'homogénéité des résultats est liée aux caractéristiques du champ géomagnétique régnant au moment de la mise en place ou à la durée de ces émissions.

- Si la variation séculaire du champ géomagnétique régnant à l'époque de l'activité volcanique est du même ordre de grandeur que celle qui existe actuellement, il est probable que l'activité volcanique est condensée dans le temps. S'il n'en était pas ainsi, comme la correspondance entre les phases d'activité du volcanisme et une direction privilégiée du champ géomagnétique serait trop grande pour être le fruit du hasard, nous serions amenés à établir une corrélation étroite entre la variation du champ géomagnétique et l'activité volcanique. Une telle hypothèse est évidemment très improbable et doit être rejetée.

- Le paléomagnétisme nous conduit donc à supposer que les séries de BOU-SOUFA et de PORT-MARIA correspondent à une même phase d'activité volcanique et

n'ont en fait, pas une grande valeur stratigraphique. Les différences pétrographiques seraient seulement le résultat de la différenciation magmatique avant l'éruption.

- Si les séries de BOU-SOUFA et de PORT-MARIA sont très étalées dans le temps alors nous sommes conduits à considérer que la variation séculaire du champ géomagnétique au moment où le volcan de Cavallo était actif était beaucoup plus réduite que pour les époques historiques et préhistoriques.

Nous n'avons pas d'arguments décisifs pour choisir entre ces deux dernières hypothèses. Seuls des essais de datation absolue, permettraient peut-être, et s'ils étaient positifs, de conclure. Cependant l'étude pétrographique réalisée par C. ROBIN (op. cité) montre que les roches des deux séries ne sont pas fondamentalement différentes et que les deux formations peuvent parfaitement appartenir à la même phase éruptive. C'est pourquoi nous retiendrons l'hypothèse d'une activité de courte durée.

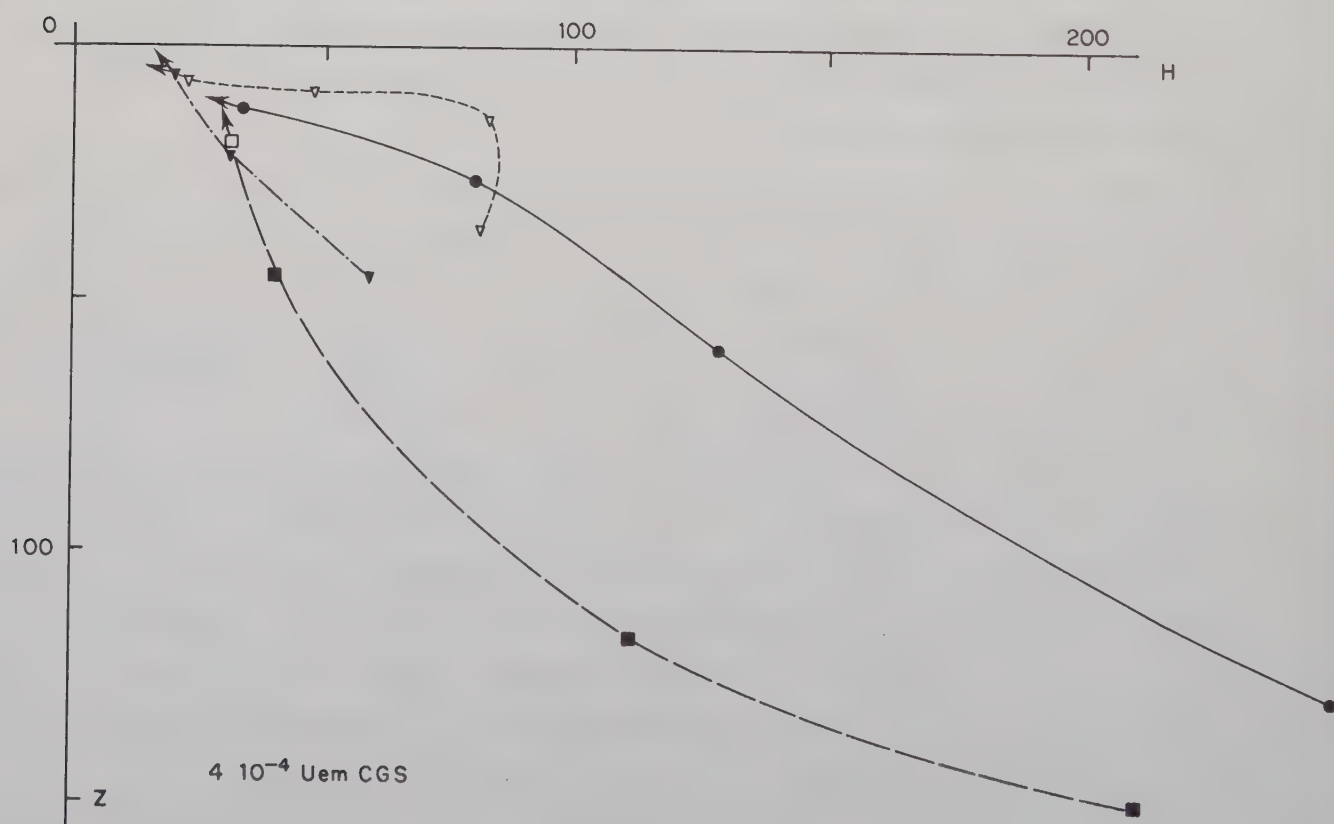
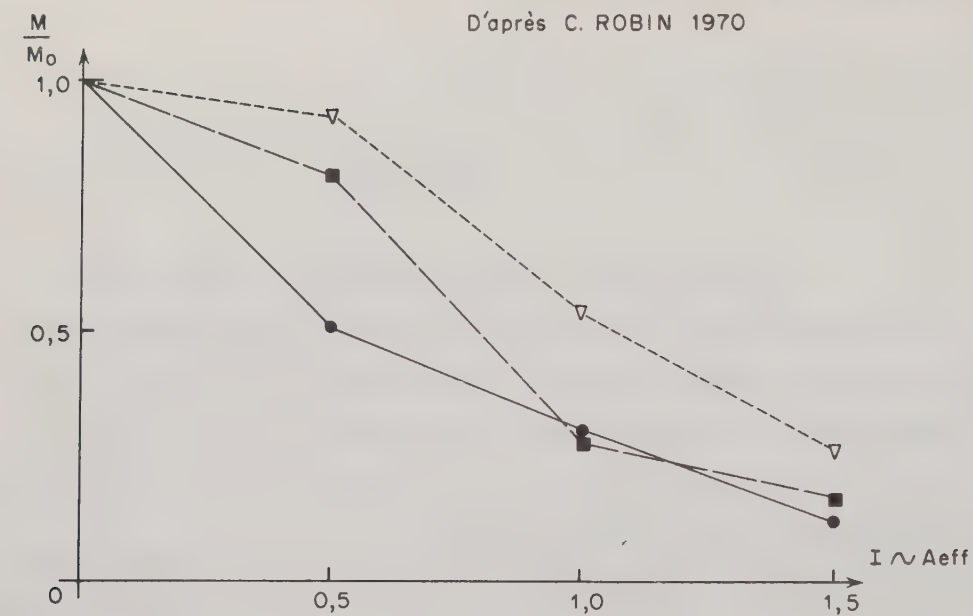
- b) Les sites B₁ à B₈ . Le site B₅ correspond à une coulée qui couronne la série de PORT-MARIA supérieure, les autres sont tous localisés sur des dykes verticaux recoupant cette série. L'ensemble B correspond donc à des venues éruptives postérieures aux épanchements de l'ensemble A.

- Les directions moyennes d'aimantation sont très divergentes d'un site à l'autre. Certes la dispersion observée reste dans les limites de celle due à la variation séculaire telle qu'elle a été mise en évidence dans les époques récentes, mais on peut craindre, aussi, que les directions obtenues ne représentent pas correctement les directions du champ géomagnétique.

- Si les roches ont bien fossilisé la direction du

COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE B7

D'après C. ROBIN 1970



$4 \cdot 10^{-4}$ Uem CGS

champ terrestre, la mise en place des dykes a probablement duré plus longtemps que la mise en place des coulées. Si par contre l'aimantation rémanente ne représente pas convenablement le champ géomagnétique cette conclusion n'est pas nécessairement valable.

- Dans certains sites comme le site B_7 les aimantations visqueuses sont très importantes (fig. 169). Dans le site B_8 , au contraire, les ARV sont pratiquement absentes. Les taux de viscosité mesurés d'après la méthode de THELLIER varient entre 23 % (site B_3) et 2 % (site B_8) pour une durée d'exposition de 60 jours. De toute façon les ARV ne permettent pas d'expliquer de façon satisfaisante la répartition des directions observées et cette dispersion est liée à l'existence d'aimantations stables dans le temps.

- Les ARI jouent souvent un rôle important (comme dans le site B_2 - fig. 170) et sont responsables de la dispersion observée dans les sites B_8 et B_5 . Dans ce dernier cas la direction moyenne calculée n'est pas caractéristique. Cependant, dans la plupart des cas, les directions obtenues en fin de désaimantation sont trop cohérentes pour que l'on puisse considérer que les composantes principales des aimantations rémanentes qui subsistent, correspondent à des ARI. Elles doivent correspondre à des aimantations thermorémanentes. La forme des courbes de désaimantation peut faire penser à des ATR dures acquises en champ ^(relativement) fort. Toutefois la présence quasi permanente d'ARV ou d'ARI douces qui se traduit par les variations de direction observées au début de la désaimantation, ne permet pas de connaître avec précision le mode de décroissance des ATR au cours du "lavage magnétique". On peut même penser que les ARI

COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE B 2 d'après C. ROBIN 1970

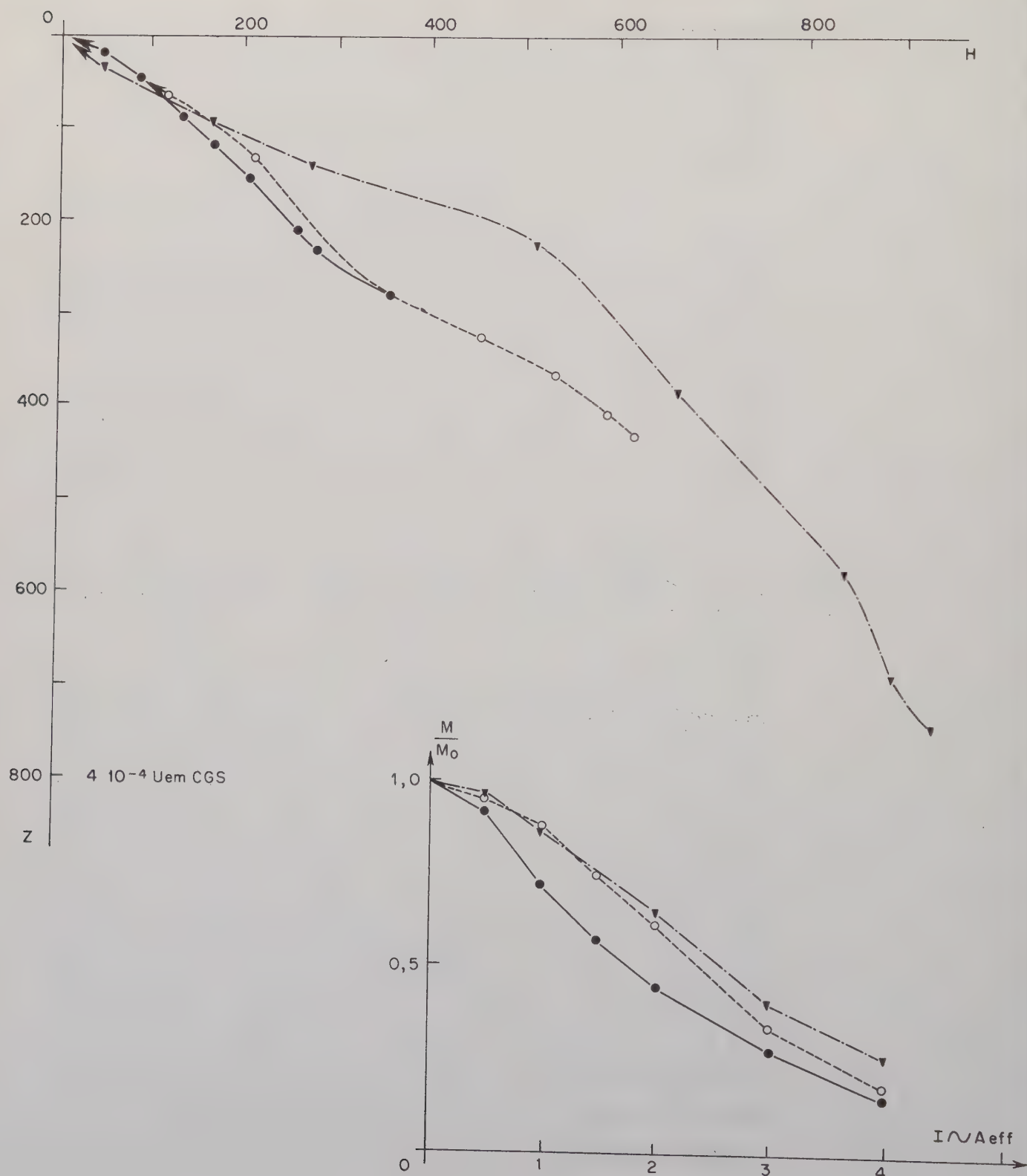


Fig. 170

observées, dont l'intensité est généralement relativement faible, ne jouent un rôle prédominant que parce que les ATR ont des intensités faibles. Ces ATR pourraient ainsi correspondre à des ATR de champ faible. Dans ce cas, étant donné la faible épaisseur des dykes, la direction du champ fossilé ne correspond pas à la direction du champ terrestre, mais à celle d'un champ très perturbé par l'aimantation des roches encaissantes.*

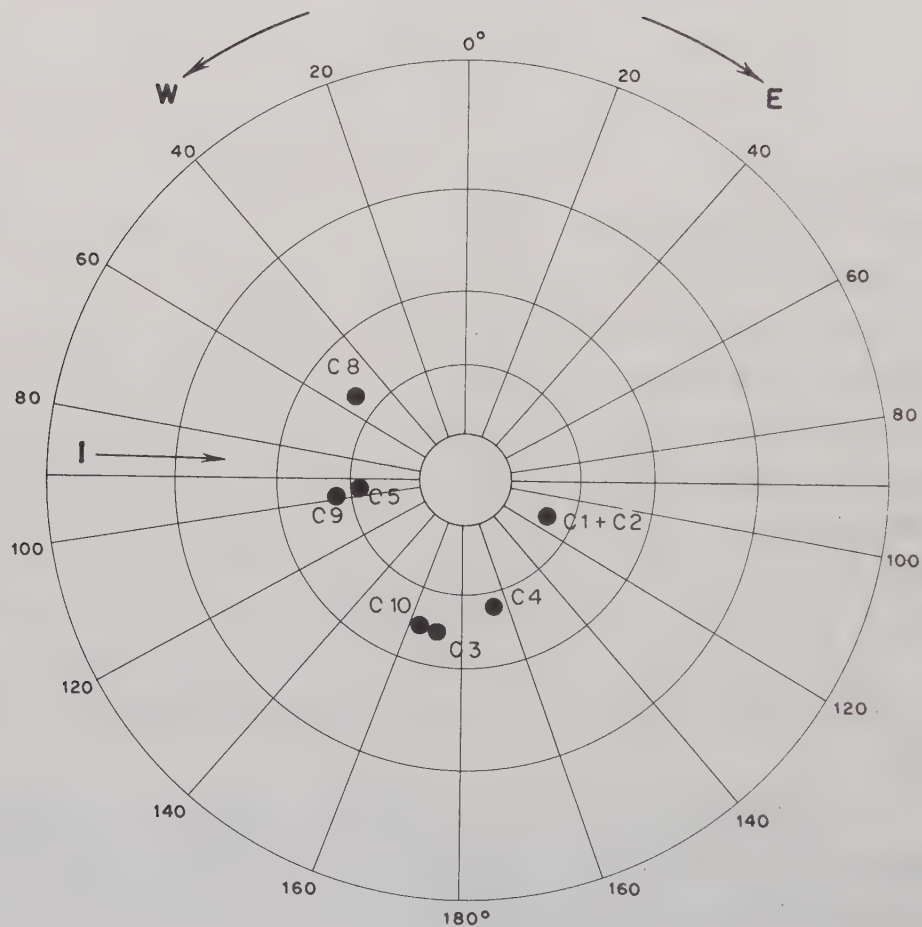
En conclusion nous dirons que le groupe B, défini par les caractères magnétiques des roches, correspond bien à une phase de l'activité volcanique. Cette phase est soit relativement étalée dans le temps (si les ATR sont de bonnes images du champ géomagnétique), soit synchrone d'une période caractérisée par un champ géomagnétique relativement faible. Dans ce dernier cas on peut supposer que la mise en place des dykes coïncide avec la période de transition du champ géomagnétique qui sépare l'époque de champ normal, contemporaine des formations A, et l'époque de champ inverse synchrone des intrusions microgranodiorites.** N.D. WATKINS (1968) a souligné, lors d'une étude de formations datant du Miocène supérieur, qu'une période d'instabilité du champ terrestre pouvait apparaître au moment du passage entre le champ normal et le champ inverse.

c) Les sites C₁ à C₁₀ . Dans la plupart de ces sites, les aimantations rémanentes naturelles sont de sens normal mais tous les échantillons, après action de champ alternatif de 400 à 600 oe, se révèlent porteurs d'aimantations rémanentes de sens inverse. Ce changement de sens est dû à la disparition des ARV comme le montrent la figure 172. En fin de désaimantation, les directions d'aimantations sont cohérentes dans un site (fig. 172 à 175) et les aimantations rémanentes qui demeurent sont dures.

Il semble que les échantillons soient tous porteurs d'une aimantation rémanente dure caractéristique d'un site. Cette

* Les dykes sont souvent très minces (50 cm - 1 m).

** Les datations radiochronologiques et les études micropaléontologiques en cours semblent montrer que coulées et intrusions périphériques sont peut-être séparées dans le temps par 5 MA. Les périodes normales et inverses correspondantes ne sont donc pas voisines.



PROJECTION STEREOGRAPHIQUE des directions correspondant
aux sites C (intersection avec la sphère dans l'hémisphère supérieur.)
d'après C. ROBIN 1970-complété.

COURBES DE DESAIMANTANTION SITE C3

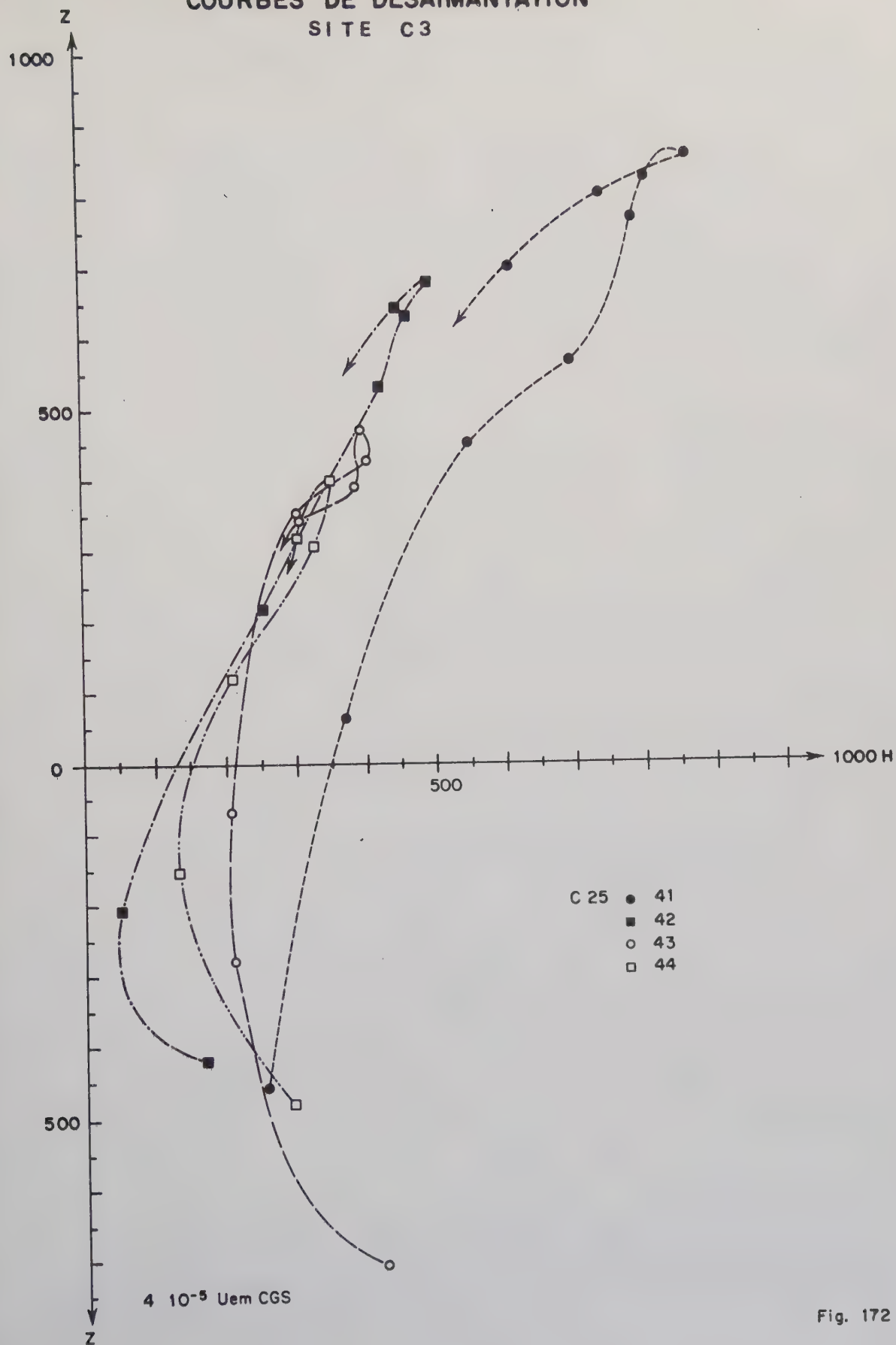
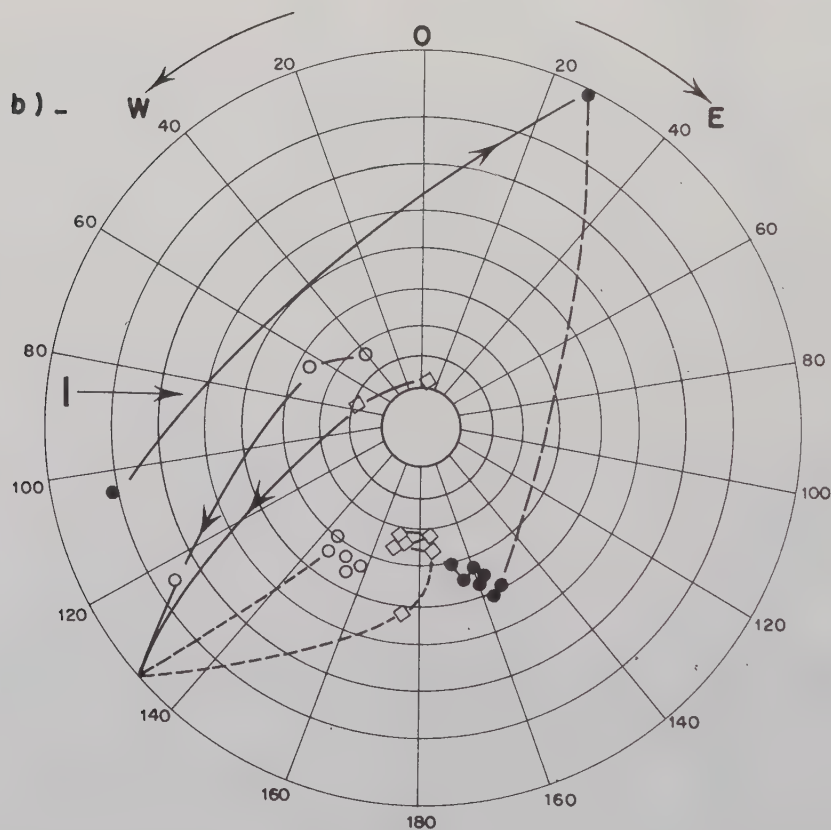
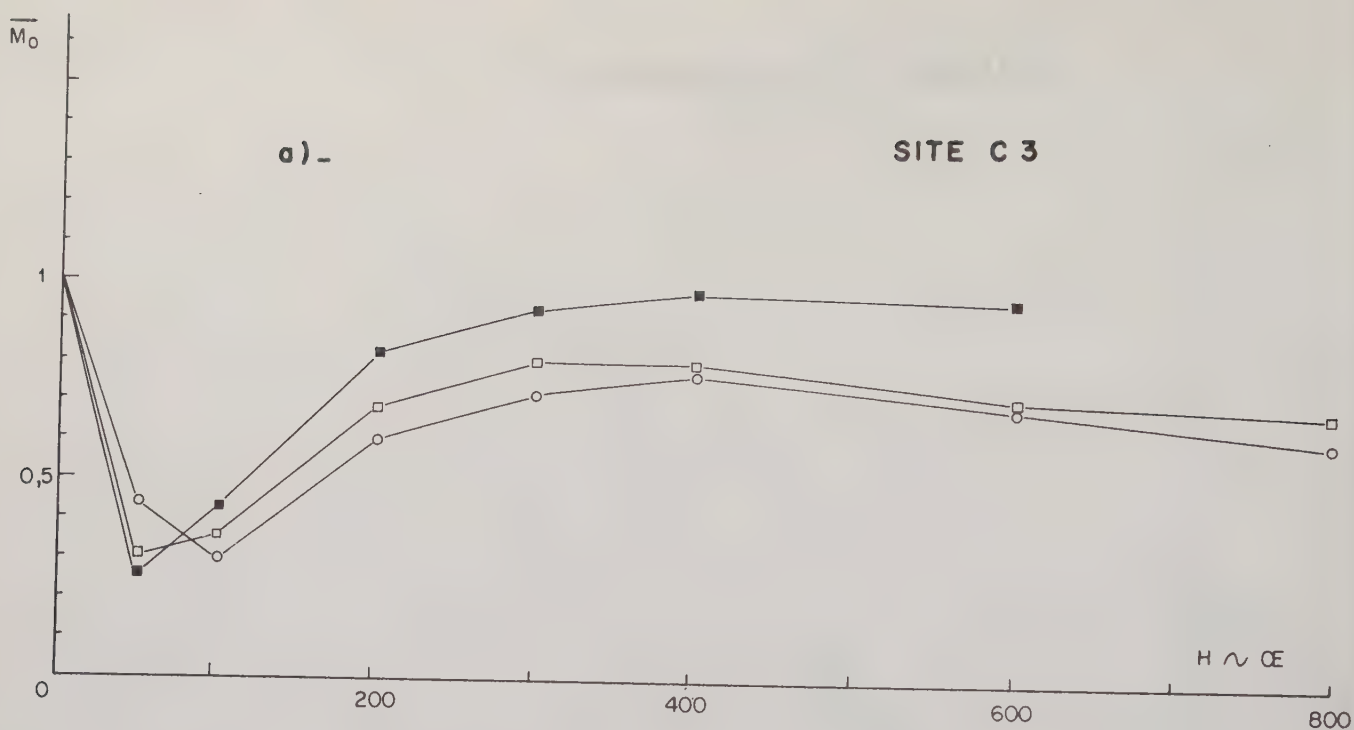
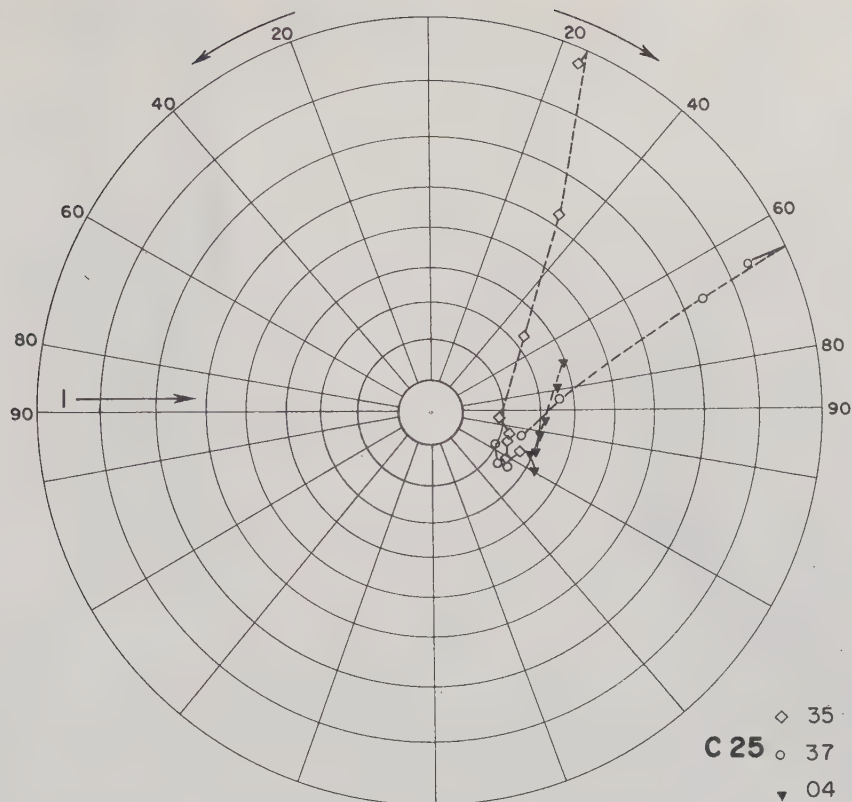


Fig. 172

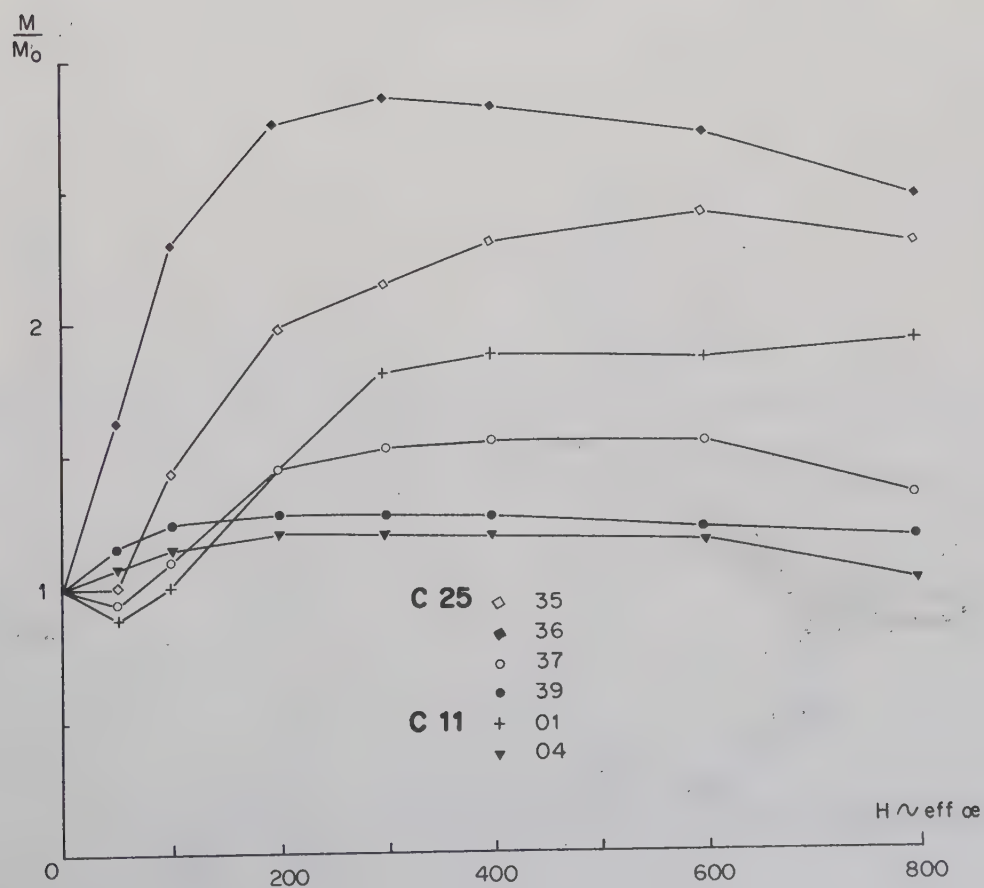


a) - COURBES DE DESAIMANTATION des échantillons du Djebel Bou Mali

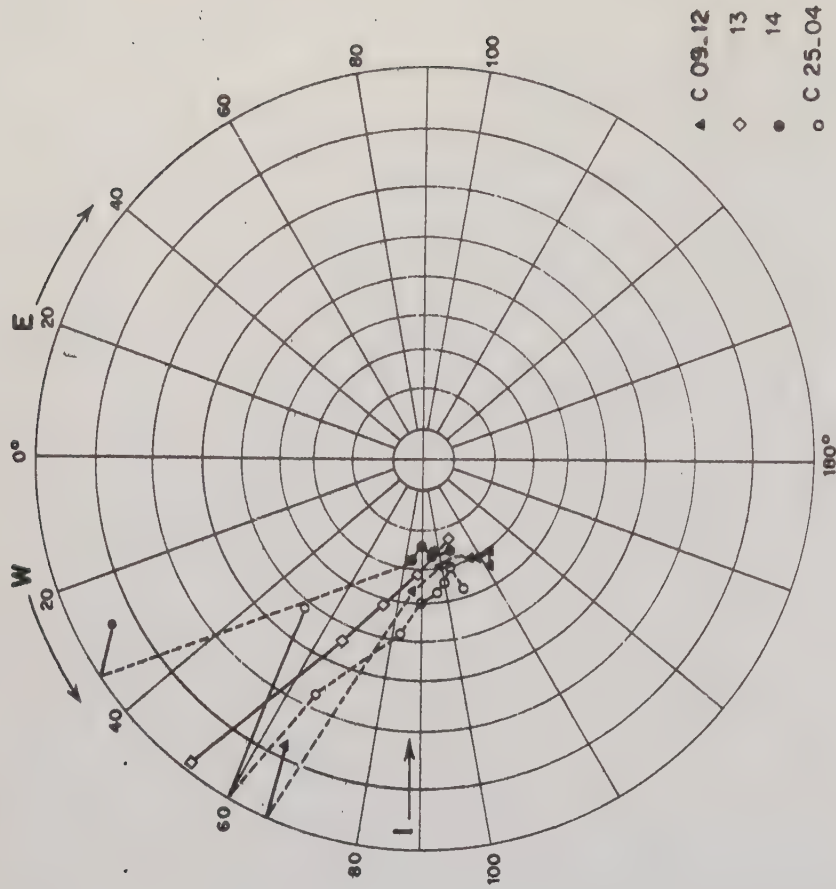
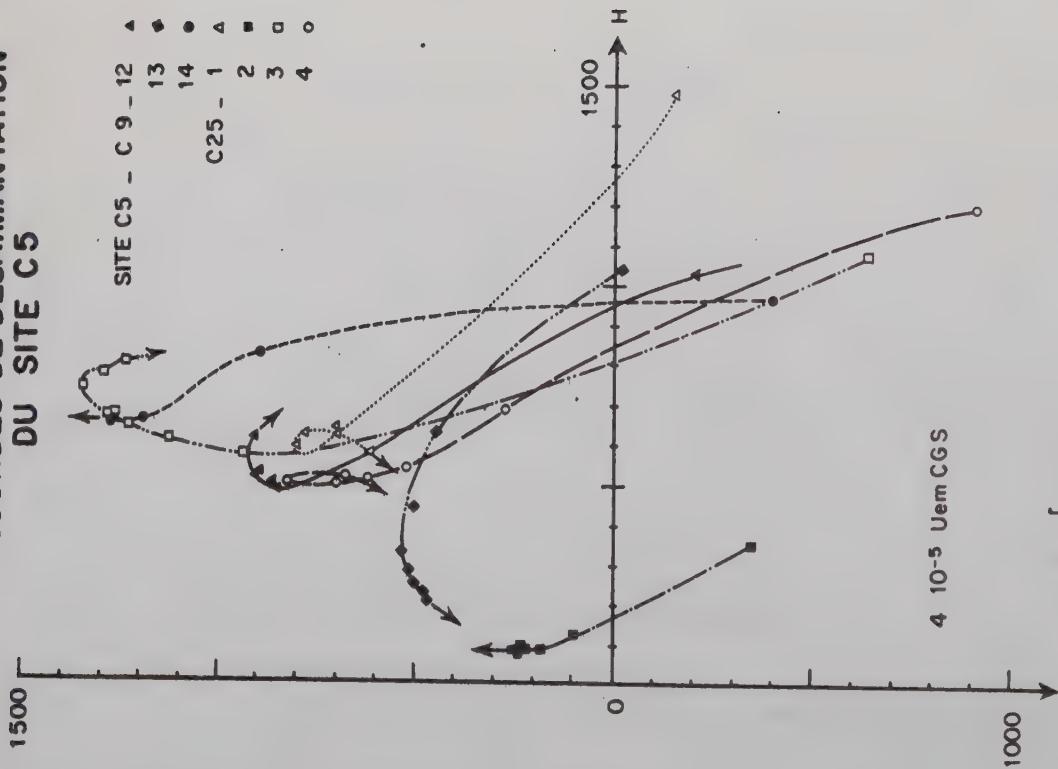
b) - PROJECTION STEREOGRAPHIQUE
 - trait plein : projection dans l'hémisphère inférieur
 - trait tireté : intersection avec l'hémisphère supérieur



COURBES DE DESAIMANTATION SITE C₁+C₂



COURBES DE DESAIMANTATION DU SITE C5



PROJECTIONS STEREOGRAPHIQUES

des directions d'aimantation lors du traitement par champ alternatif d'échantillons du SITE C5.

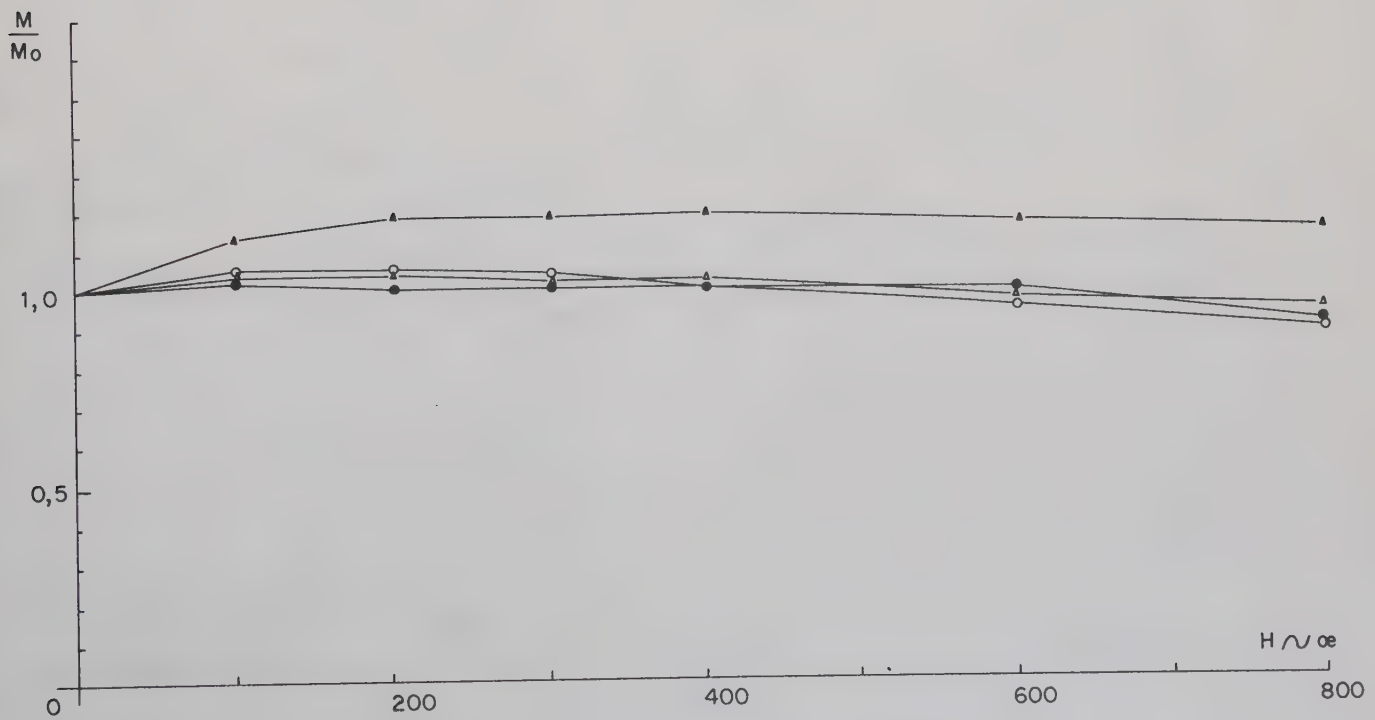
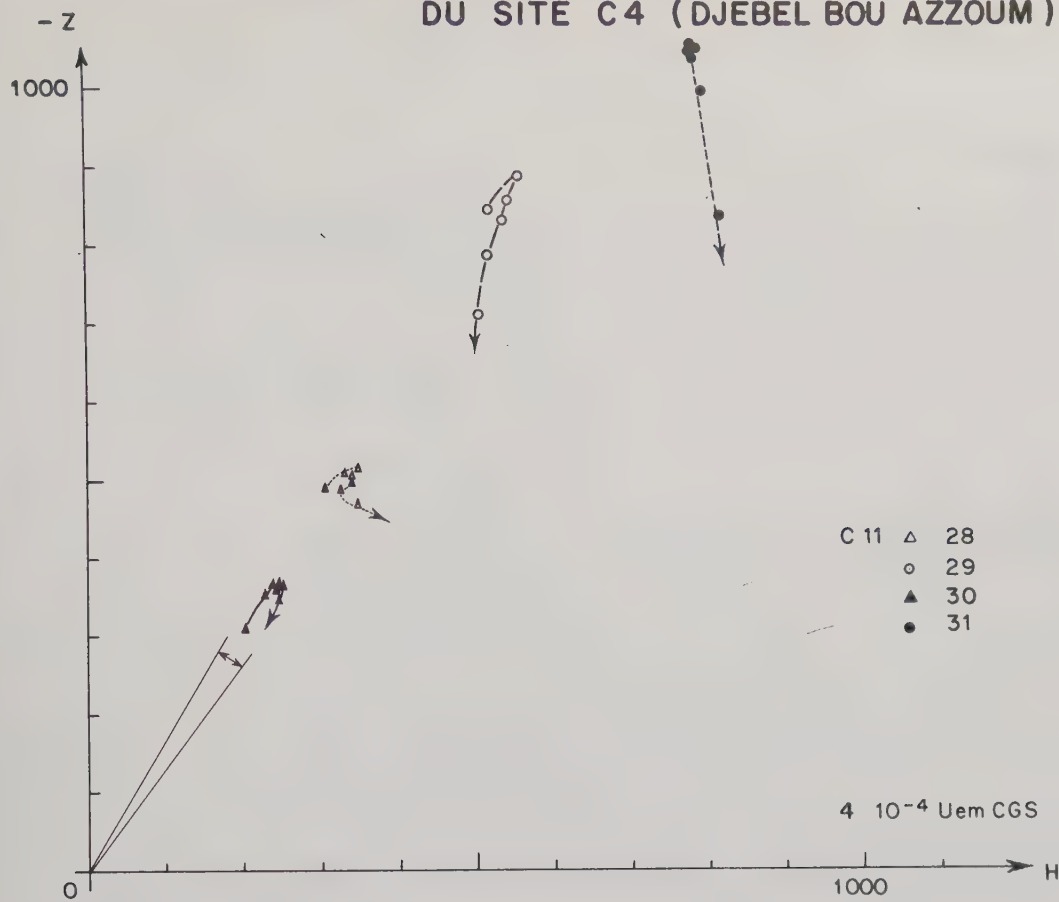
Traits pleins : projections dans l'hémisphère inférieur (I+)

Tirés : projections dans l'hémisphère supérieur (I-)

d'après C. ROBIN 1970



COURBES DE DESAIMANTANTION DES ECHANTILLONS DU SITE C4 (DJEBEL BOU AZZOUM)



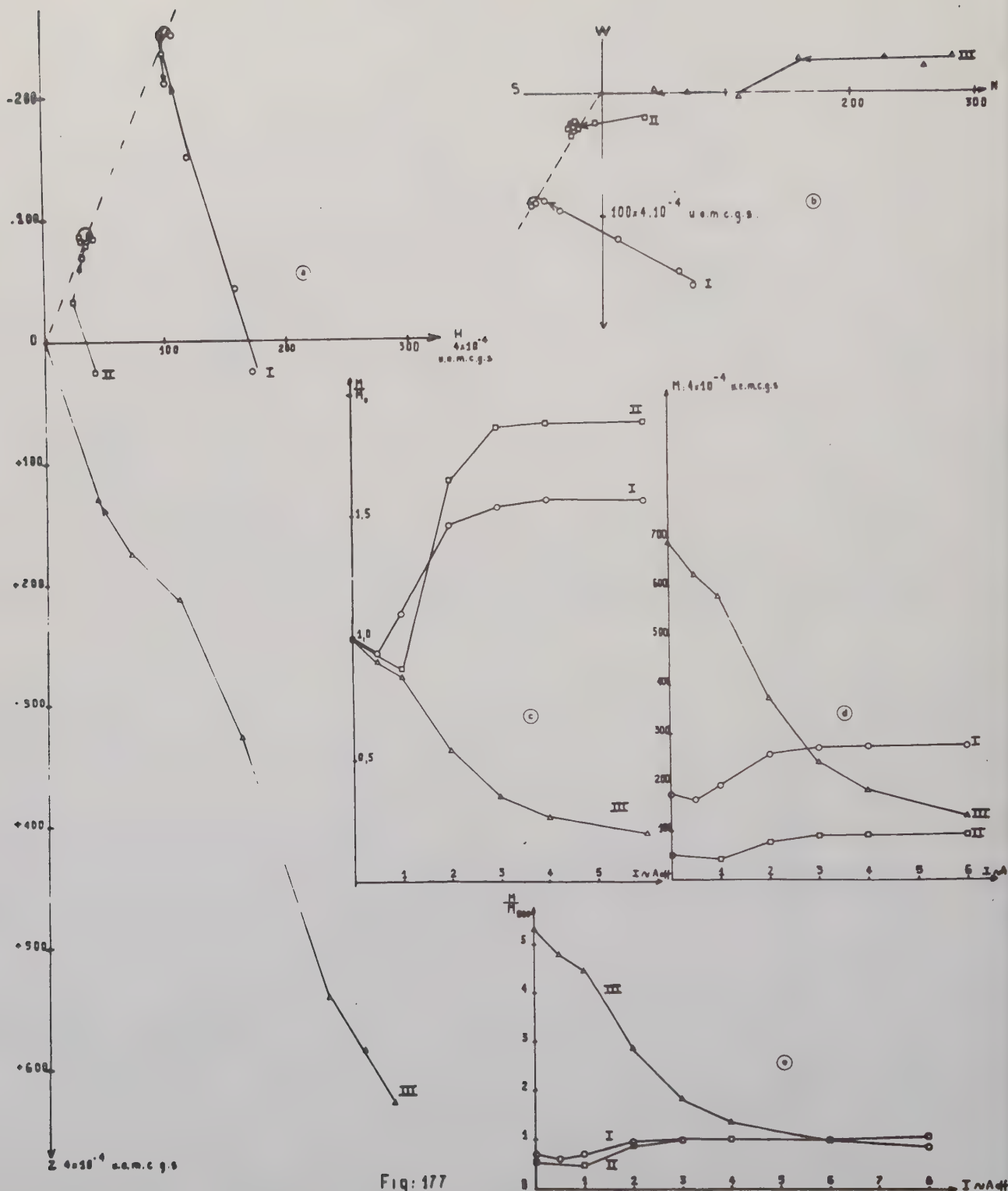


Fig: 177

aimantation rémanente peut exister seule (site C_4 fig. 176) mais le plus souvent elle est masquée par une ARV dont l'intensité peut varier dans un même site (site C_1 fig. 174). La forme des courbes de désaimantation conduit à penser que les aimantations rémanentes résistantes correspondent à des ATR acquises en champ faible. (sites C_1 et C_2 fig. 174 et C_5 fig. 175). Pour vérifier ce fait nous avons procédé à des expériences de chauffe sur les échantillons C_{25-37} (site C_1) et C_{25-42} (site C_3).

Echantillons C_{25-37}

Après analyse de l'aimantation rémanente naturelle par lavage magnétique, (Graphiques I - Fig. 177 a,b,c,d,e) l'échantillon a été retaillé pour obtenir un cube de 4,5 cm de côté qui a été chauffé à 200° puis refroidi en champ terrestre. Une nouvelle désaimantation est alors effectuée par lavage magnétique (Graphiques II - fig. 177 a,b,c,d,e).

Enfin après une deuxième chauffe à 750° , suivie d'un refroidissement en champ terrestre le bloc est une nouvelle fois désaimanté (Graphiques III - fig. 177 a,b,c, d et e).

La comparaison des graphiques I et II des figures 177 montre que l'aimantation de l'échantillon C_{25-37} est peu modifiée par la chauffe à 200° car :

- d'une part, la susceptibilité totale de l'échantillon varie peu puisque sa valeur passe de 908×10^{-6} u e m c g s avant la chauffe à 1022×10^{-6} u e m c g s après chauffage à 200° .
- d'autre part, le sens et la direction de l'aimantation rémanente dure ne sont pas modifiés. L'intensité de l'aimantation rémanente "naturelle" après la chauffe est voisine de l'A.R.N. du bloc entier compte tenu de la réduction de volume. En particulier, l'aimantation visqueuse conserve le même ordre de grandeur.

L'analyse de l'aimantation rémanente "naturelle" du bloc faite après la chauffe à 750° montre que :

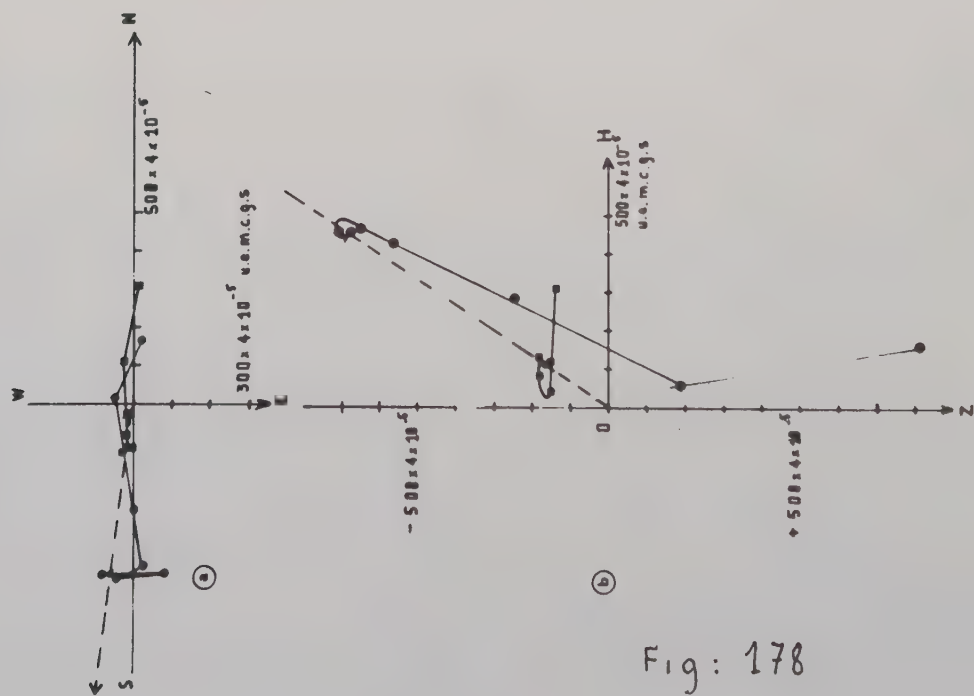
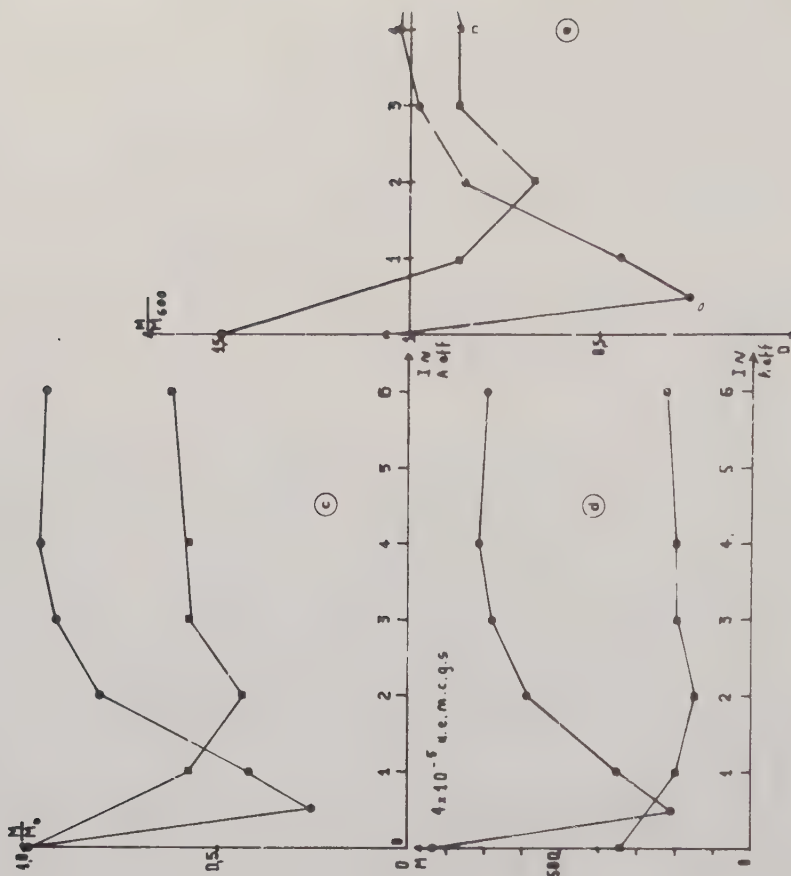


Fig: 178

- Les phénomènes d'auto-inversion sont improbables et que l'A.R.N. de la formation étudiée correspond probablement pour sa composante dure, à une A.T.R. de champ fort.
- L'aimantation visqueuse réapparaît après la chauffe.
- L'échantillon présente des phénomènes d'anisotropie, puisque l'inclinaison de l'A.T.R. artificielle est de $+ 75^\circ$ alors que celle du champ agissant était voisine de $+ 63^\circ$. L'existence d'une forte anisotropie de susceptibilité a été confirmée par des mesures réalisées par L. DALY au pendule magnétique à 12 oe et 20 oe.

Cette anisotropie est probablement liée au mode de mise en place des intrusions. Une analyse détaillée de la répartition des ellipsoïdes d'anisotropie mériterait d'être faite.

Echantillons C₂₅₋₄₂ (Fig. 178)

Après l'analyse de l'A.R.N. un cube de 4,5 cm de côté a été taillé dans l'échantillon. Après une chauffe à 300° l'aimantation a été à nouveau analysée.

Là encore nous constatons peu de variations compte tenu de la réduction de volume. L'aimantation visqueuse joue encore un rôle important. Une A.T.R. partielle semble toutefois apparaître.

CONCLUSION : Dans le massif de CAVALLO, les propriétés magnétiques des roches permettent donc bien de regrouper les roches en ensembles ayant une signification stratigraphique. De plus, l'analyse magnétique précise, permet aussi d'avancer des hypothèses solides sur le dynamisme du volcan, comme la proximité dans le temps des séries de BOU SOUFA et de PORT MARIA.

L'étude poursuivie ici, constitue par ailleurs un bon exemple de la méthode qu'il convient de suivre quand on veut utiliser les données paléomagnétiques, pour résoudre des problèmes géologiques. Une campagne préalable avait montré que les roches étaient utilisables pour les études paléomagnétiques. Elle avait aussi permis d'envisager des hypothèses sur la dynamique du volcan. Dans les campagnes ultérieures, il a été possible d'augmenter le nombre des échantillons dans les sites les plus intéressants.

3) Comparaison des résultats à l'échelle du Nord Constantinois.

Cette comparaison est nécessaire pour évaluer l'importance de l'apport du paléomagnétisme dans une analyse fine des parentés entre les phases d'évolution des complexes volcaniques du Nord Constantinois.

Pour aborder ce problème, nous allons d'abord, à l'aide des résultats obtenus, essayer de définir une échelle stratigraphique des inversions du champ géomagnétique.

La comparaison de nos résultats avec les données stratigraphiques établies par J. HILLY (1957), permet de proposer pour la région d'Herbillon le tableau de correspondance suivant :

Etages Stratigraphiques	Formations Volcaniques	Polarité Géomagnétique
Vindobonien	Dykes andésitiques terminaux	--
	Microgranite II	+ ? (4)
	Diorites et microdiorites	-
Burdigalien	Brèches et coulées andésitiques	+ ? (1)
		-
		+ (2)
	Microgranite I	- (3)
		- ? (4)
		?

- (1) L'existence de ce niveau à aimantation normale s'impose si l'on admet que les directions d'aimantation du toit du laccolite correspondent à celle d'un champ transitoire. Comme ce fait n'est pas démontré nous nous contentons, ici, de rappeler qu'une période de

champ normal existe peut-être à la limite du Burdigalien et de l'Helvétien.

- (2) Ce niveau normal existe sous réserve que l'existence du niveau médian à aimantation normale, supposé dans les andésites du Kef el Gourou, soit confirmée par des études ultérieures.
- (3) L'antériorité des microgranites I de Sidi Bou Fernana par rapport aux andésites du Kef el Gourou est probable, mais non certaine.
- (4) Polarité déduite d'un seul échantillon, donc très incertaine.

Ce tableau de correspondance présente donc de nombreuses incertitudes bien que ce soit le plus complet que nous puissions proposer. Les résultats obtenus dans les autres régions sont en effet beaucoup plus restreints.

Au CAP DE FER, en dehors de la similitude entre les sills de microdiorites et le toit du laccolite d'HERBILLON, que nous avons souligné, seule l'existence d'andésites burdigaliennes, à aimantation normale, postérieures aux microgranites I a pu être mise en évidence. Ce niveau andésitique peut correspondre au niveau moyen des andésites d'HERBILLON, mais rien ne nous permet de l'affirmer avec certitude.

A CAVALLO, apparaît une série à aimantation normale postérieure au Burdigalien supérieur suivie par une série à aimantation inverse qui correspond aux intrusions de Microgranodiorites. Ces résultats confirmeraient l'existence d'une période de champ normal à la limite du Burdigalien et de l'Helvétien qui pourrait coïncider avec celle dont nous avons supposé l'existence à HERBILLON. Les microgranodiorites du Massif de Cavallo pourraient ainsi être synchrones des microdiorites d'HERBILLON. Il serait cependant nécessaire d'étayer cette hypothèse par des datations absolues.

C. ROBIN (1970) signale que les premières coulées du massif de Cavallo reposent sur des séries sédimentaires contenant

des éléments de la Biozone N 8 de Blow. Elles sont donc d'âge Langhien (fin du Burdigalien) ou plus récentes soit plus jeunes que 19,5 MA. Il rapporte les résultats d'un essai de datation effectué sur une coulée de la Série de PORT MARIA et qui donne un âge de 15 MA. Cette série se situerait ainsi à la base de la biozone N 13 définie par N. BERGGREN (1969) soit au Serravalien moyen. (Signalons que d'autres mesures sont cependant nécessaires pour confirmer cette datation). Toutefois ces données sont insuffisantes car une étude identique devrait être faite à HERBILLON pour comparer utilement avec CAVALLO.

Si nous voulons replacer notre échelle par rapport à celle proposée par NAIRN (1965) et que nous avons évoquée à propos de la SARDAIGNE, nous pouvons établir le tableau comparatif suivant :

ALGERIE (Echelle possible)		NAIRN (1965)	
Vindobonien	?	Tortonien	N ₄
	-----		-----
	+ ?	Helvétien	R ₄
	-----		-----
Burdigalien	+	Burdigalien	N ₅
	-----		-----
	-----		R ₅
	+		-----
	-----		N ₆
	- ?		

	?		

Ce tableau montre que la période N_5 de NAIRN peut correspondre à la période de champ normal qui semble exister en ALGERIE entre le Burdigalien et l'Helvétien. Par contre, si les études ultérieures confirmaient l'existence d'un niveau normal médian dans les Andésites d'HERBILLON et d'un niveau normal correspondant aux microgranites II, nous serions amenés à supposer que les niveaux R_4 et R_5 de NAIRN sont probablement découpés par des périodes normales intercalaires. L'échelle deviendrait la suivante :

10 MA

VINDOBONIEN	N_p
	R_p
	$N_{(p+1)}$
	$R_{(p+1)}$
BURDIGALIEN	$N_{(p+2)}$
	$R_{(p+2)}$
	$N_{(p+3)}$
	$R_{(p+3)}$
	$N_{(p+4)}$

26 MA

Cette échelle elle-même, déjà aléatoire, est certainement très incomplète. Elle montre à l'évidence que toutes les corrélations que nous pouvons tenter par cette méthode, sont encore de pures spéculations.

CONCLUSIONS A L'ETUDE DU NORD CONSTANTINOIS.

L'étude que nous venons de faire, est donc très décevante. Il peut paraître sans intérêt d'avoir, à propos d'une thèse, développé un aspect aussi négatif. Nous avons tenu cependant à exposer les résultats obtenus dans cette région car l'ensemble de cette étude constitue une bonne illustration des difficultés que l'on rencontre quand on veut utiliser le Paléomagnétisme comme méthode de la stratigraphie.

Aux aléas liés à la nature du phénomène étudié s'ajoutent les multiples difficultés qui surgissent dans l'interprétation des résultats :

a) L'étude des formations volcaniques du CAP DE FER et d'HERBILLON, nous rappelle combien l'aimantation rémanente naturelle des roches peut être une propriété capricieuse et souligne combien il est parfois difficile de retrouver les aimantations rémanentes qui intéressent le géologue. Sur le terrain, aucune règle générale ne permet d'affirmer que tel type de matériel donnera de bons résultats, mais que tel autre sera inutilisable. Les recherches que nous avons faites en ALGERIE, illustrent une nouvelle fois cette incertitude. Tant à CAVALLLO qu'au CAP de FER, nous avons rencontré des laves plus ou moins altérées. Certaines donnent de bons résultats d'autres sont stériles mais il n'y a pas de corrélation étroite entre l'altération et la valeur des résultats. Nous avons vu que certaines intrusions microgrenues, voire grenues, apportent des réponses d'autres ne sont d'aucun secours.

Notre étude permet cependant de tirer la leçon méthodologique suivante : avant d'aborder une étude paléomagnétique sérieuse, il est nécessaire de procéder à une reconnaissance préalable des propriétés magnétiques du matériel disponible.

Cette première étape permet de préciser les programmes ultérieurs et de poser des hypothèses de travail. La conclusion du travail que nous avons poursuivie au CAP de FER illustre ce fait.

b) Aux difficultés liées à la nature des roches s'ajoutent les complications qui peuvent résulter de la structure du massif. A HERBILLON, les coulées sont de petite taille. Dans ce cas, il suffit qu'un "coup de foudre" soit venu perturber une coulée pour que le résultat global soit incertain. C'est pour cette raison que nous n'avons pas la certitude qu'un niveau à aimantation normale existe dans les Andésites du KEF EL GOUROU. Son existence ne peut pas être prouvée par la multiplication des prélèvements sur la coulée dont la surface d'affleurement (quelques M2) se réduit à celle d'un point de prélèvement et non à celle d'un site. Mais si d'autres coulées, situées au même niveau stratigraphique, présentent une aimantation normale alors nous pourrions affirmer l'existence de cette période de champ normal. Là encore notre étude permet de dégager une leçon de méthodologie.

Les études Paléomagnétiques sont délicates dans les édifices volcaniques qui, résultant d'une activité explosive, présentent des coulées de taille réduite souvent déformée.

c) A CAVALLO, les intrusions de microgranodiorites permettent de reconnaître le sens du champ géomagnétique, mais la présence d'anisotropie très forte empêche d'en connaître encore avec certitude la direction. Des phénomènes semblables doivent exister dans les dômes phonolitiques.

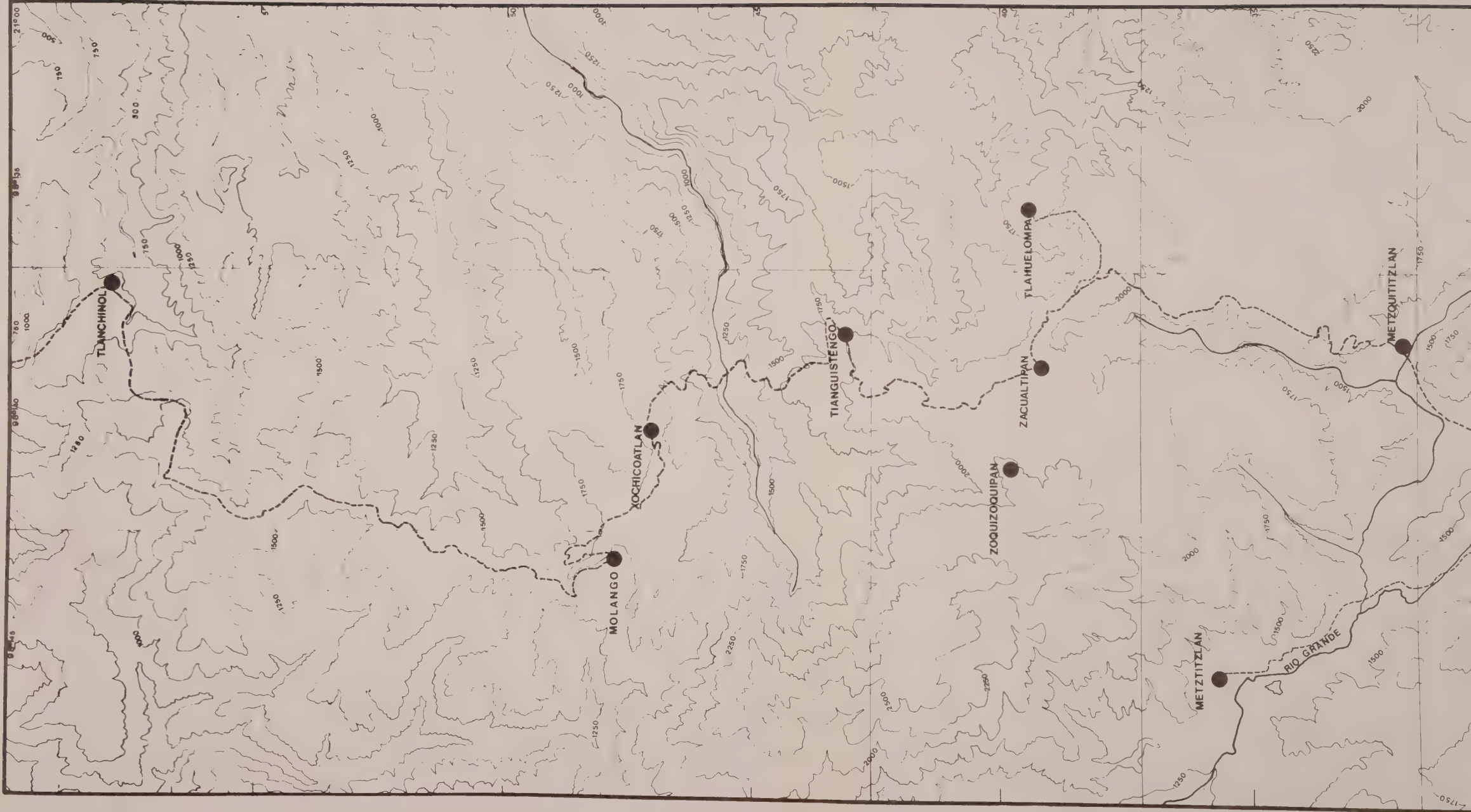
L'analyse des propriétés magnétiques des roches intrusives permet de reconnaître le sens des aimantations, mais il est indispensable de s'assurer que les phénomènes d'anisotropie ne perturbent pas la direction pour utiliser celle qui est mesurée.

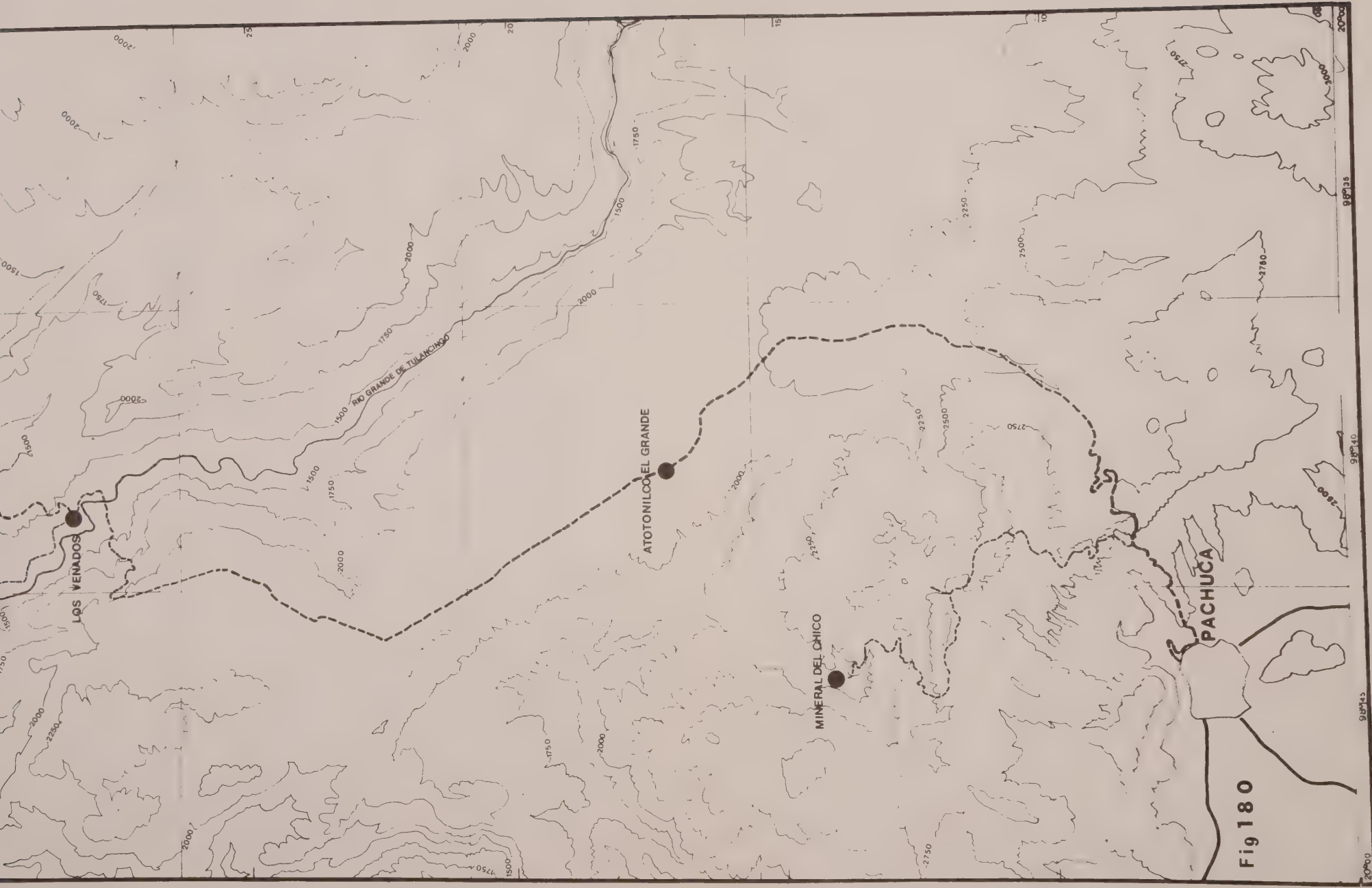
d) Enfin, l'étude poursuivie dans le Nord Constantinois, montre que, si les données paléomagnétiques peuvent permettre d'établir des subdivisions et de proposer des corrélations, à l'échelle d'un massif unique, elles ne permettent pas d'établir de telles corrélations entre des massifs différents d'âge Miocène. La Géochronologie apportera toujours des données plus précises et plus sûres,

encore que les synchronismes qu'elle peut établir ne sont valables qu'à quelques millions d'années près. A notre sens, les corrélations fines ne pourront être proposées qu'en combinant les données géochronologiques, paléomagnétiques et micropaléontologiques. Mais, pour cela, il est indispensable d'essayer d'établir au préalable dans chacune des zones définies par W. BERGGREN (1969), la succession des inversions, en utilisant des laves datées paléontologiquement et par la radiochronologie. La combinaison de ces trois paramètres (Micropaléontologie, géochronologie, et paléomagnétisme), devrait permettre de mettre au point une technique globale de datation pour l'oligocène et le miocène, valable pour le bassin Méditerranéen. Ce n'est qu'en combinant plusieurs méthodes que l'on parviendra à affiner la résolution dans le temps des méthodes stratigraphiques. Un tel effort ne peut être que collectif.

Le volcanisme d'AFRIQUE DU NORD pourrait apporter beaucoup d'éléments à une étude de ce type au tertiaire. Les coulées de PORT MARIA à CAVALLLO constituent ainsi un premier maillon dans cette chaîne en permettant de dire qu'au voisinage de la base de la zone N_{13} définie par W. BERGGREN (op. cit.) existe une période de champ normal.

e) Enfin nous rappellerons aussi qu'une étude détaillée des laccolites de microdiorites d'HERBILLON permettrait, sans doute, d'apporter des éléments précieux sur les A.R.V. et leurs liaisons avec les altérations pneumatolytiques tandis que celle des intrusions de microgranodiorites de CAVALLLO permettrait de préciser les rapports entre l'anisotropie et les contraintes subies par les roches intrusives lors de leur mise en place





D - LE MEXIQUE

En 1966, nous avons pu effectuer, dans le cadre de la Mission scientifique française au Mexique et en Amérique centrale (C.R.C.P. - C.N.R.S. n° 48 - Responsable : Professeur G. STRESSER-PEAN), un séjour de 66 jours au Mexique pour aborder l'étude du volcanisme de la Huasteca. Nous ne rapporterons pas ici l'ensemble de nos observations qui feront l'objet d'autres publications, mais nous rassemblerons l'ensemble des données paléomagnétiques que nous avons recueillies* entre Pachuca et HUEJUTLA (Etat de HIDALGO) (Fig. 180).

I - Données géologiques et magnétiques

Les prélèvements proviennent de trois secteurs différents :

1) Entre Pachuca et OMITLAN, nous avons prélevé (série PV) dans certaines formations du district minier de PACHUCA où la stratigraphie et la carte géologique (fig. 181) ont été établies par les géologues miniers (A.R. GEYNE ; CARL. FRIES Jr. et al... 1963) à qui nous devons aussi les correspondances de la Figure 182.

Nous avons ainsi étudié :

a) Les andésites, dacites et rhyolites des formations de SANTA-GERTRUDIS (Tortonien Helvetien) VISCAINA (Pontien-Sarmatien) et Zumate (Plaisancien supérieur). Les aimantations, généralement faibles, nous ont livré les données consignées dans le tableau IX.

* Une partie seulement des échantillons prélevés a pu être analysée. Le restant n'étant pas encore parvenu en France par suite de difficultés administratives.

CARTE GEOLOGIQUE SOMMAIRE DE LA REGION DE PACHUCA d'après GEYNE-FRIES-SEGERSTROM -
BLACK et WILSON - 1963 -

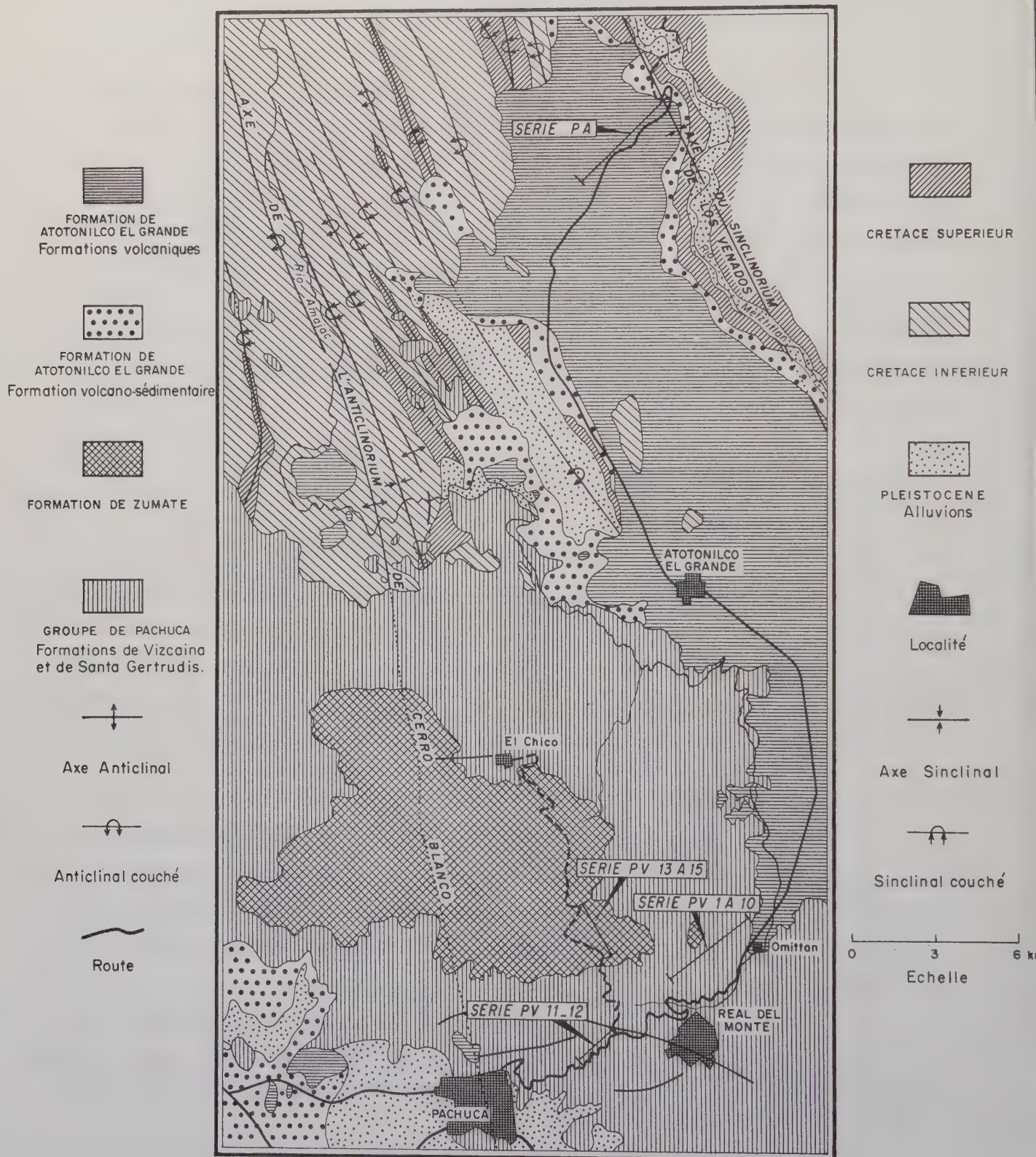


Fig. 181

EPOQUE	SERIE	ET AGE		AGE en M.A.	REGION DE PACHUCA	
		EUROPE	TEX.-MEXICO			
QUATERN.	RECENT ET PLEISTOCENE			1	ALLUVIONS ROCHES VOLCANIQUES MAFICAS COUCHES LACUSTRES ET CONES CINERITES	
TERTIAIRE	PLIOCENE	ASTIEN	SUPERIEUR		FORMATION DE TARANGO ROCHES VOLCANIQUES MAFICAS FORMATION DE ATOTONILCO EL GRANDE ANDESITE JALPAN FORMATION DE SAN CRISTOBAL	
		PLAISANCIEN	INFERIEUR		TOBA DON GUINYO FORMATION DE ZUMATE ? ?	
					FORMATION DE TEZUANTLA	
				13	FORMATION DE CEREZO	
					FORMATION DE VIZCAINA	
	MIOCENE	PONTIEN SARMATIEN	SUPERIEUR		FORMATION DE STA. GERTRUDIS	
		TORTONIEN HELVETIEN	MOYEN		FORMATION REAL DEL MONTE	
		BURDIGALIEN AQUITANIEN	INFERIEUR	25	FORMATION DE PACHUCA	
	OLIGOCENE	CHATTIEN	MOYEN		FORMATION DE CORTEZA	
		RUPELIEN	MOYEN			

Age des formations volcaniques de la région de PACHUCA
d'après C. FRIES

Site	Formation et Age	Altitude en m	IR	DR	N	B	R	k	β	α_{95}
PV 15	ZUMATE	3095	-17°	176°E	4	1	3,98	166	-	7°
14		3020	-17°30	168°E	4	1	3,92	42	-	14°30
13	Plaisancien sup.	2870	+39°30	14°W	4	1	3,99	592	-	4°
	Résultante		+24°30	9°30W	12	3	2,94	81	39	13°30
PV 11		2820	+05°	5°W	4	1	3,98	221	-	6°
10	VISCAINA	2760	+60°	48°W	4	1	3,98	234	-	6°
09	Pontien	2720	+60°	8°W	4	1	3,87	23	-	19°
08	Sarmatien	2680	+49°	6°W	4	1	3,91	36	-	15°30
01		2530	+46°	79°E	un seul échantillon mesurable sur 4 prélèvements.					
	Résultante		+52°	2°E	17	5	4,20	50	7	23°30
PV 12		2850	+13°	8°W	4	1	3,97	104	-	9°
07	SANTA	2670	-70°	25°E	4	1	3,53	7	-	37°!!
06	GERTRUDIS	2660	-14°	109°30	3	1	2,97	78	-	14°
05		-		E						
04	Helvétien	2580	} Non mesurables							
03	Tortonien	2560								
02		2550								
	Résultante		42° 30	50°30W	11	3	2,10	15	2	62°!!
	Résultante Generale		34°30	14°W	40	11	8,74	32	5	18°30
Position du Pôle		Total	76°30N 175°30W 12°30 21°							
			λ_p ϕ_p δ_p δ_m							
		ZUMATE	78°30N							
		VISCAINA	78°N							
		SANTA GERTRUDIS	43° 40 N							
			133°30E 90° 30W 174°W							
			8° 22° 47°30!!							
			14°30 32° 77°!!							

TABLEAU IX

Direction d'aimantation des laves du groupe de Pachuca

b) Le long de la falaise qui borde, au Sud-Ouest, le Rio Metztitlan, les dolérites de la Formation de ATOTONILCO EL GRANDE. Ces coulées, rattachées au Pliocène supérieur (Astien), nous ont permis d'établir le tableau X. Elles ont rempli une ancienne dépression lacustre, et sont interstratifiées dans des sédiments clastiques, des cinérites et des calcaires.

c) Enfin, le long de la route qui relie Tlanchinol à HUEJUTLA, une série de 22 coulées superposées de dolérites - (Tableaux XI) . Cette série se raccorde aux tables volcaniques qui parsèment la Huasteca (Photo 22). Elle ennoie une ancienne dépression recoupant les formations crétacées tectonisées. Les considérations morphologiques nous conduisent à raccorder ces dolérites à la formation de ATOTONILCO EL GRANDE. Des datations absolues, en cours de réalisation, permettront de préciser ces données.

II - Analyse des résultats paléomagnétiques

1 - Le sens des aimantations rémanentes

A l'exception de la formation de VISCAINA, toutes les formations présentent des aimantations inverses et des aimantations normales.

D'après le schéma de la Figure 182, ^(p. 575) la formation de Santa Gertrudis, s'intercalerait entre les deux formations étudiées en Sardaigne. En tenant compte de l'échelle de Navin (1966), il aurait été possible de la situer au niveau des périodes R_4 et N_4 .

Site	Altitude en m	I_R	D_R	N	B	R	k	β	α_{95}
PA 08	1910	+34°	17°30W	2	1	1,997	-	-	-
PA 07 a	1900m	+27°	3°W	2	1	1,99	-	-	-
07 b }		+15°30	4°W	2	1	1,99	-	-	-
07 c		+27°	11°W	2	1	1,99	-	-	-
a+b+c		+23°	6°W	6	3	2,98	264	139	8°
Résultante		+26°	83°W	8	4	3,96	200	104	8°
PA 06	1850	-49°30	173°E	3	1	2,94	39	-	20°
05	1840	-44°30	178°30	2	1	1,98	-	-	-
04	1835	-46°30	133°E	2	1	1,92	-	-	-
03a }	1825	-57°	172°E	3	1	2,98	184	-	9°
03b		-55°30	174°E	3	1	2,98	114	-	12°
Résultante		-52°	166°E	13	5	4,89	46	82	9°
02	1790	+33°30	7°30W	3	1	2,97	73	-	14°30
01	1750	+33°30	6°30E	3	1	2,99	811	-	4°30
Résultante		+33°30	0°30W	6	2	1,98	134	127	10°
Résultante Générale	1750 - 1910	+40°30	8°W	27	11	10,58	62	2,8	4°
Position du pole :		λp						δp	δm
		Niveau supérieur normal	79°30N	133°E	5°	9°			
		Niveau moyen inverse	72°30N	142°W	8°30	12°30			
		Niveau inférieur normal	88°N	91°30E	6°30	11°30			
		TOTAL	82°N	167°30W	2°30	5°			

TABLEAU X

Directions d'aimantation de la série
de Atotonilco el Grande (Astien supérieur)

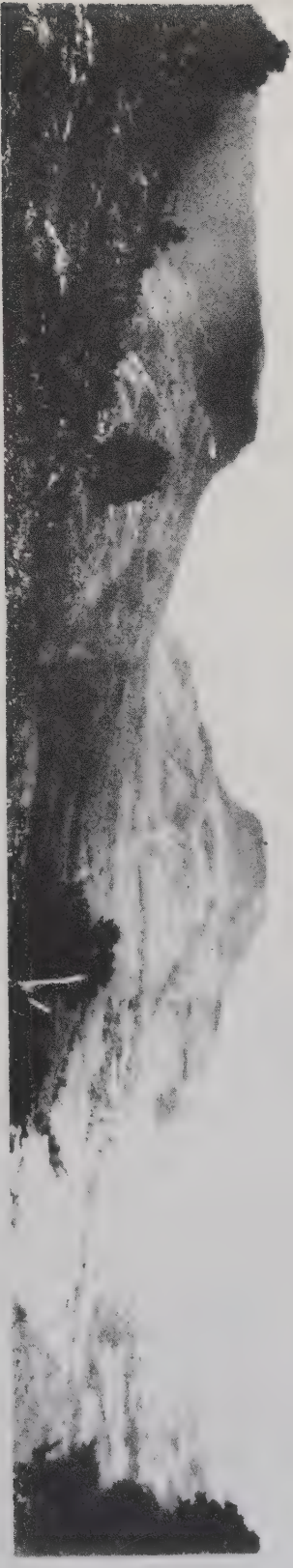


Photo n° 22 - Mesa de la région de HUEJUTLA.
Buttes témoins à couverture basaltique.

Altitude	N° échantillon	I	D	R	I _R	D _R	k	α ₉₅
1245	T H 1	-29°30	175°30E	2.98	- 38°	179°E	105	12°
	T H 1	-41°30	176°30W					
	T H 1	-42°30	178° E					
1250	T H 2	-49°	175° W	2.98	- 48°	180°E	193	9°
	T H 2	-49°	175° W					
	T H 2	-45°30	171° E					
1255	T H 3	-38°30	175°30W	2.98	- 43°	178°W	161	10°
	T H 3	-46°30	172°30W					
	T H 3	-44°30	174°30E					
1260	T H 4	- 49°	150°30E	2.95	- 50°	168°E	50	17°30
	T H 4	-52°30	175°W					
	T H 4	-46°	170° E					
1270	T H 5	-19°30	162°30E	2.89	- 32°30	173°E	18	29°30
	T H 5	-26°	176°30W					
	T H 5	-51°	174°30E					
1290	T H 6	-22°	156°E	2.93	-15°30	169°E	33	21°30
	T H 6	-11°	168°E					
	T H 6	-13°30	177°W					
1300	T H 7	+54°	44°W	2.90	+61°30	12°30W	20	27°30
	T H 7	+58°	10°W					
	T H 7	+63°30	26°E					
1310	T H 8	+60°	17°W	2.75	+82°	125°W	8	44°
	T H 8	+65°	168°W					
	T H 8	+73°	165°W					
1315	T H 9	+65°30	2°E	2.99	+66°30	3°30E	508	5°30
	T H 9	+64°30	10°E					
	T H 9	+69°30	2°W					
1318	T H 10	+60°	12°E	2.97	+67°30	1°E	68	15°
	T H 10	+65°	7°W					
	T H 10	+77°	8°W					
1320	T H 11	+62°30	16°30E	2.99	+65°	11°30E	285	7°30
	T H 11	+63°	11°E					
	T H 11	+70°	5°E					
1340	T H 12	+ 8°	2°30E	2.80	+34°30	8° E	10	39°
	T H 12	+38°	5° E					
	T H 12	+56°	21° E					

Tableau XI a

Altitude	N° échantillon	I	D	R	I _R	D _R	k	α ₉₅
1360	T H 13 T H 13 T H 13	+26°30 +22°30 +23°	9°E 14°30E 15°30E	2.99	+24°	13°E	442	6°
1365	T H 14 T H 14 T H 14	+19° +18°	18°E 7°30E	1.99	+18°30	12°30E	131	
1372	T H 15 T H 15 T H 15	+17° +24° +22°	19°E 14°E 21°E	2.99	+21°	18°E	272	7°30
1382	T H 16 T H 16 T H 16	+50° +54° +63°	9°W 2°30W 1°W	2.98	+55°30	4°30W	131	11°
1410	T H 17 T H 17 T H 17	+34° +45° +47°30	10°30W 19°W 29°30W	2.96	+42°30	19°W	65	15°30
1430	T H 18 T H 18 T H 18	+48°30 +43°30 +50°	19°W 12°W 9°W	2.99	+47°30	13°30W	282	12°30
1460	T H 19 T H 19 T H 19	+54° +55° +53°	7°E 20°W 11°W	2.98	+54°30	8°W	101	12°30
1475	T H 20 T H 20 T H 20	+59° +58° +52°	18°30W 7°W 16°W	2.99	+56°30	14°W	262	7°30
1480	T H 21 T H 21 T H 21	+54° +52° +60°30	27°W 20°W 25°W	2.99	+55°80	24°W	272	7°30
1495	T H 22 T H 22 T H 22	+57° +48° +53°	23°W 13°W 0°W	2.97	+53°	11°30W	99	12°30
Résultante générale			(1245m -1290m)	20.70	48°	3° W		
Résultante des aimantations inverses				5.86	-38°	175°E		9°50
Résultante des aimantations normales			Total 1300- 1495m	14.96	+52°	2°W		9°

Tableau XI b

Résultante des aimantations normales	Niveau infé- rieur (1300-1320)	4.88	+71°	3°30W		10°30
"	Niveau moyen (1340-1372)	3.97	+24°30	13°E		6°77
	Niveau supé- rieur (1382-1480)	6.96	+52°30	13°30W		4°30

Coordonnées du lieu 21°N 98°40W

Position du Pôle Total	81°30N	116°W	$\delta p = 19°30$	$\delta m = 30°$
Moyen série inverse	85°30N	177°E	$\delta p = 6°30$	$\delta m = 11°$
" " normale	78°30N	106°W	$\delta p = 8°30$	$\delta m = 12°$
inférieure	55° N	102°W	$\delta p = 16°$	$\delta m = 18°$
moyenne	75° N	22°E	$\delta p = 4°$	$\delta m = 7°30$
supérieure	73° N	141°30W	$\delta p = 4°$	$\delta m = 6°$

Tableau XI c

Direction d'aimantation des laves
de TLANCHINOL à HUEJUTLA

Par contre, avec l'échelle que suggèrent nos résultats d'Algérie, il n'est plus possible d'établir des correspondances. Comme nous l'avons vu en Sardaigne et en Algérie, la connaissance d'un fragment de spectre d'inversion ne permet en aucun cas de fixer un âge aux formations étudiées. Les datations radiochronologiques sont indispensables.

2 - La direction des aimantations rémanentes

L'analyse des directions des aimantations rémanentes des roches du Mexique va nous permettre d'illustrer très clairement certaines notions fondamentales.

a) La comparaison des directions des aimantations mesurées sur l'ensemble des laves du Mexique montre que, depuis le Miocène, la direction de l'aimantation rémanente n'est pas caractéristique d'une époque même dans un espace limité.

α) On retrouve à l'Astien (ATOTONILCO EL GRANDE) des directions identiques à celle de l'Helvetien (Santa Gertrudis). Dans la série de ATOTONILCO EL GRANDE, la direction résultante du niveau à aimantation normale de base (+ 28° 30' 30" W) est très proche de celle du niveau à aimantation normale supérieure (+ 33° 30' 00" 30W).

Donc dans une même série verticale, et dans une même région, des laves appartenant à des époques différentes peuvent avoir la même direction d'aimantation.

β) Réciproquement, des laves qui, probablement, appartiennent à une même époque de champ normal peuvent présenter des directions d'aimantation très différentes du fait de la variation séculaire du champ magnétique terrestre.

La série à aimantation normale de Tlanchinol illustre une nouvelle fois cette constatation. Les directions moyennes des aimantations se répartissent en 3 groupes :

A la base, entre 1300 et 1320 m, existe un groupe à forte inclinaison (coulées TH 7 - 8 - 9 - 10 et 11). Entre 1340 et 1372 m apparaissent quatre coulées (TH - 12 - 13 - 14 - 15) à faible inclinaison. Enfin entre 1382 et 1495 m, 7 coulées épaisses (TH - 16 - 17 - 18 - 19 - 20 - 21 - 22) sont caractérisées par une inclinaison forte.

La direction moyenne du champ varie considérablement lorsque l'on passe d'un groupe à l'autre ($I = +71^{\circ} 30' - D = 3^{\circ} 30' W$ pour le premier groupe ; $I = +24^{\circ} 30' - D = 13^{\circ} E$ pour le second, $I = +52^{\circ} 30' - D = 13^{\circ} 30' W$ pour le troisième).

- b) - La direction d'aimantation peut servir pour analyser l'évolution dynamique de l'activité volcanique. La série de Tlanchinol en apporte la preuve.

En effet, Ces regroupements qui apparaissent dans les coulées à aimantation normale de cette série ne peuvent, en aucun cas, être le fruit du hasard. Ils résultent du fait que la mise en place des coulées à aimantation normale a dû se faire au cours de trois phases d'activité. Nous pouvons donc conclure que la série de Tlanchinol a été mise en place au cours de quatre phases d'activité : la première étant contemporaine d'une époque de champ inverse, les trois dernières contemporaines d'une époque de champ normal. La moitié de la série est liée à la dernière phase.

Il est clair, aussi, que, compte tenu de la puissance de certaines coulées (20 à 30 m d'épaisseur dans la phase terminale) et de leur développement horizontal (certaines coulées forment des barres rocheuses sur plusieurs kilomètres), l'étude des directions d'aimantation mesurées sur des séries verticales

voisines permettrait d'établir des corrélations et de préciser l'évolution dans l'espace du volcanisme de cette région.

- c) - La comparaison des directions moyennes du champ, calculées pour l'ensemble des coulées de Tlanchinol, d'une part, et pour l'ensemble des laves à aimantation normale, d'autre part, montre que la direction de la résultante générale ($+ 48^{\circ}3'W$) est surtout déterminée par les laves à aimantation normale (résultante $+ 52^{\circ}2'W$) plus abondantes que par les laves à aimantation inverse (résultante $+ 38^{\circ}5'W$). Dans le cas présent, comme la mise en place des laves à aimantation normale, a eu lieu au cours de trois phases d'activité distinctes, il est probable que l'influence du champ non dipolaire est déjà atténuée et que la direction moyenne est relativement proche de celle du champ dipolaire. Si par contre cette mise en place avait eu lieu au cours d'une seule phase d'activité, ce qui aurait été possible compte tenu de l'importance de la dernière phase d'activité, la direction moyenne serait plus le reflet du champ moyen de l'époque que celle du champ dipolaire. Il est donc évident que pour calculer une moyenne représentative d'un champ dipolaire, il ne faut pas seulement multiplier le nombre de coulées analysées mais il est nécessaire aussi de s'assurer que cette augmentation n'a pas

pour effet d'accroître l'influence d'une phase d'activité particulière et qu'elle traduit au contraire l'augmentation des phases soumises à l'analyse. Un champ dipolaire ne peut être représenté que par la direction moyenne d'un ensemble de directions du champ, moyen définies elles-mêmes par la direction moyenne des directions d'aimantation des coulées appartenant à une même phase d'activité.

Donc pour qu'une direction moyenne calculée d'après les mesures de la direction de l'aimantation des laves d'une région puisse être considérée comme représentative d'un champ dipolaire, il est nécessaire qu'une analyse sérieuse de la dynamique de l'activité volcanique de la région ait été faite au préalable.

RAPPEL SOMMAIRE DE LA STRUCTURE GEOLOGIQUE DES MARGES

OCCIDENTALE ET MERIDIONALE DE LA SARDAIGNE

I - RAPPEL HISTORIQUE

Depuis 1964, la Station de Geodynamique sous-marine de Villefranche sur Mer poursuit, sous la direction du Professeur GLANGEAUD, l'étude de la structure géologique de la Méditerranée occidentale. Les campagnes Géomède I* et Gibraltar II (1967) effectuées en collaboration avec le Musée Océanographique de Monaco à bord des N/O J. Charcot et Calypso, et auxquelles nous avons participé, avaient permis de reconnaître les grands traits structuraux du bassin occidental situé à l'Ouest du Méridien de Bougie et en Mer Ligure (GLANGEAUD L., ALINAT J. et al 1966, GLANGEAUD L., ALINAT J., et al. 1967, GLANGEAUD L., BOBIER C., BELLAICHE G., 1967, GLANGEAUD L., 1968, GLANGEAUD L., REHAULT J.P., 1968).

L'étude du secteur S.E., indispensable pour compléter cet ensemble, a été entreprise lors d'une campagne qu'il nous a été donné de diriger en Octobre et Novembre 1968, à bord du M.Y. Amazone, et qui était conduite en coopération avec la RCP N° 116 Nord Constantinois (Fig. 183). Le dépouillement des données a fait l'objet d'une thèse de 3ème cycle (J.M. AUZENDE, 1969). Cette campagne avait permis de préciser l'extension en mer des complexes volcaniques et intrusifs du Nord Constantinois (C. ROBIN, J.M. AUZENDE, 1970).

En 1970, nous avons pu compléter ces premières données lors de la Mission Géomède III (L. GLANGEAUD, 1970, L. GLANGEAUD, Ph. OLIVE, 1970). Les données paléomagnétiques (C. BOBIER, C. ROBIN, 1969) nous avaient permis de conclure que la région de Cavallo et Bougie n'avait probablement subi que des mouvements verticaux depuis le Miocène. En 1970, l'analyse d'un profil de sismique marine confirmait ce résultat (J.M. AUZENDE, G. PAUTOT, 1970).

II - LES TRAITS STRUCTURAUX DU CANAL DE SARDAIGNE ET DE LA MARGE OCCIDENTALE SARDE.

Nous ne rentrerons pas dans le détail des interprétations des profils sismiques, l'objet du présent travail ne portant pas sur l'Océanographie. Nous résumerons brièvement les données essentielles.

1°- Le Canal de Sardaigne (Fig. 184)

a) Les données brutes -

α) Morphologie

Du côté tunisien, au plateau continental qui s'élargit vers le Nord-Est succède entre -400 m et - 2000 m une pente à faible déclivité (2°) présentant un méplat à -1400m. Si, à l'Ouest, - on reconnaît facilement un glacis et une plaine (coupe C₁, Photo 23) il n'en va pas de même à l'Est où un canal large de 9 milles (17 km) sépare la pente tunisienne de la pente sarde (coupe A₃, Photo 24).

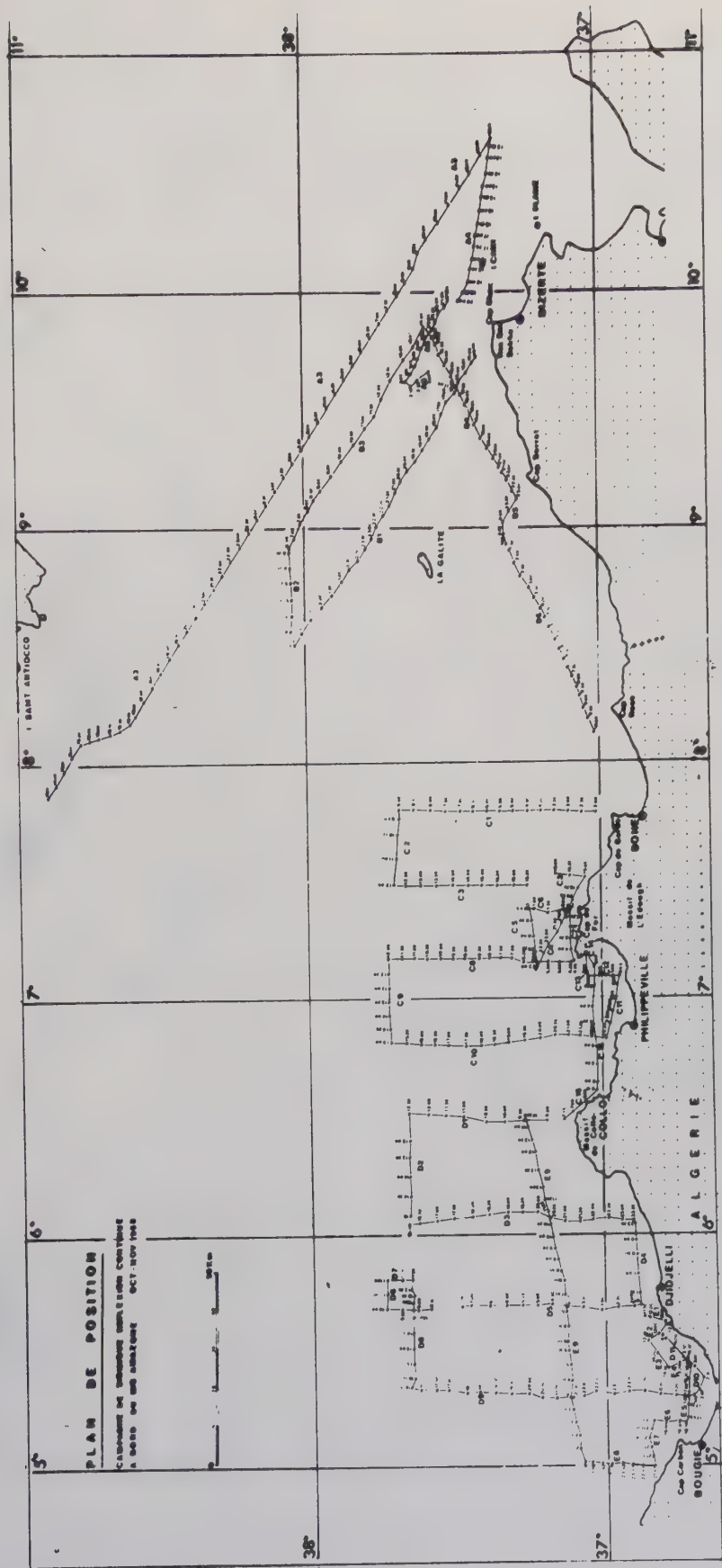
β) Les réflecteurs acoustiques

- Séquence superficielle (a). Sur la plus grande partie des profils de la zone tunisienne la séquence superficielle est constituée par une couche de réflecteurs continus et réguliers surmontant (quand la séquence s'épaissit) un niveau où les réflecteurs sont plus rares (coupe A₃ - 9 h 30) voire inexistants (A₃ entre 6 h 30 et 7 h 30).

Sur le plateau tunisien, cette séquence qui tend à combler toutes les dépressions du substratum (Vallées anciennes, grabens) et ne disparaît qu'à la faveur des remontées assez abruptes de ce dernier, présente une épaisseur variable. Au niveau de la pente, elle forme un revêtement quasi continu d'Ouest en Est et s'épaissit au niveau du glacis pour se raccorder à la séquence superficielle rencontrée dans la plaine (coupe C₁). Au niveau du canal de Sardaigne, elle est fracturée (coupe A₃ - 21 h 45) et entaillée par une vallée sous-marine actuelle (Coupe A₃ - 23 h).

Fig. 133

Plan de position de la Mission Amazone



Position des coupes sismiques réalisées par
la Station de Géodynamique de Villefranche sur mer
au voisinage du Canal de Sardaigne

A₃BC Coupes réalisées à bord M.Y. AMAZONE
Canon SGV Flute geospace.
G III Coupe réalisée pendant mission Géomède III
Canon Bolt (51) Flute geospace.



Quelle que soit son épaisseur, la séquence a laissé pénétrer les ondes sonores et permet la reconnaissance des structures sous-jacentes. Elle correspond probablement à une couche de sédiments meubles.

- Les réflecteurs "durs" du substratum. Une observation détaillée des réflecteurs révélant le substratum sur la coupe A_3 permet de reconnaître plusieurs types :

Au niveau du banc des Esquerquis et se prolongeant vers le S.E., la séquence de type b_1 qui correspond au substratum, montre des réflecteurs régulièrement stratifiés pendant vers le S.E. La pénétration est assez bonne et les doubles s'estompent rapidement malgré la faible profondeur d'eau. Le coefficient de réflexion de la surface de ce niveau et des couches qui le constituent est donc relativement faible.

Entre le banc des Esquerquis et la bordure du plateau continental, le substratum se révèle sous la forme d'une séquence (type b_2) comportant peu ou pas de réflecteurs mais ceux-ci, quand ils apparaissent, sont assez régulièrement stratifiés. Les hyperboles de diffraction sont assez rares, tandis que les doubles sont toujours très nombreux et très marqués. Le substratum doit donc se présenter ici sous la forme de couches assez bien stratifiées mais la somme des coefficients de réflexion des premières couches traversées est très forte. Ce niveau est découpé par une série de failles en un ensemble de horsts et de grabens.

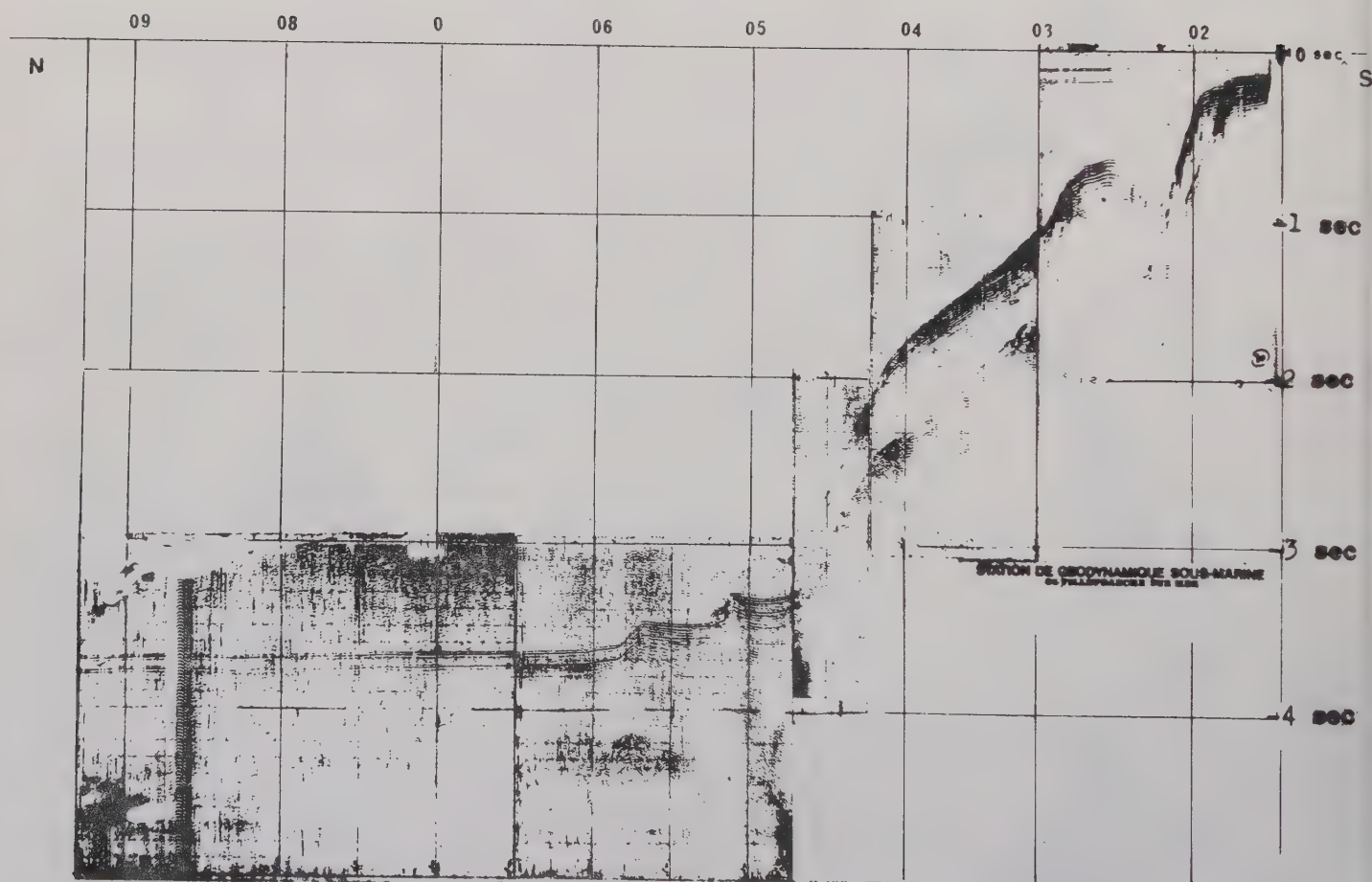
De la pente tunisienne à la pente sarde apparaît un troisième type de substratum (type b_3). La séquence correspondante est marquée par la présence de nombreuses hyperboles de diffraction (la surface de ce niveau est probablement très irrégulière). La stratification des réflecteurs demeure toujours assez floue. Mais bien que la pénétration soit faible, les doubles restent peu marqués même si la profondeur d'eau est faible. Si le coefficient de réflexion

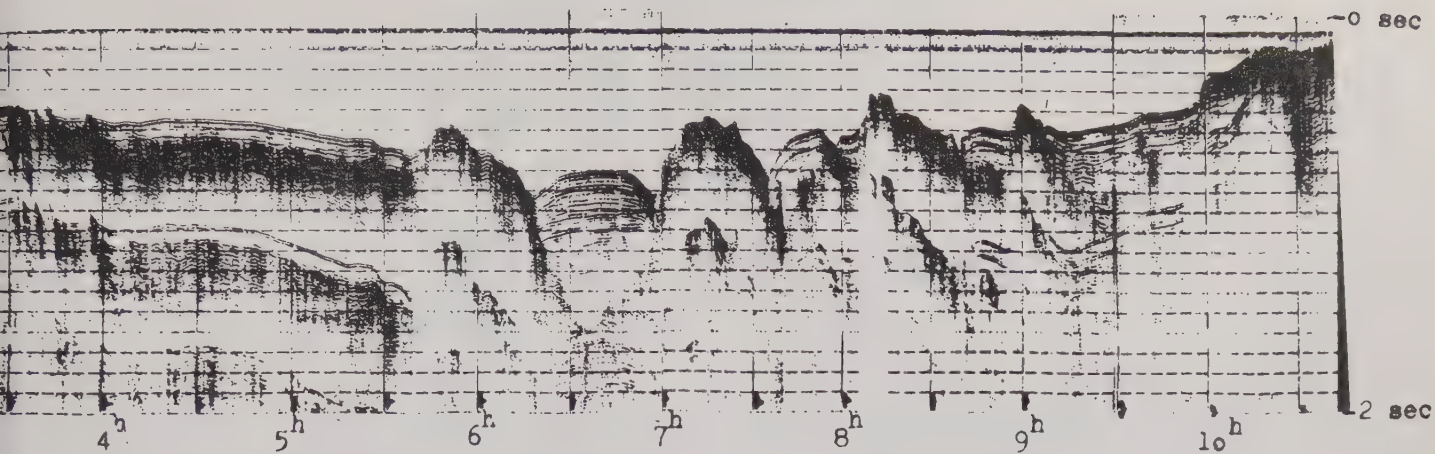
Photo 23

Coupe C₁ - Mission Amazone 1968

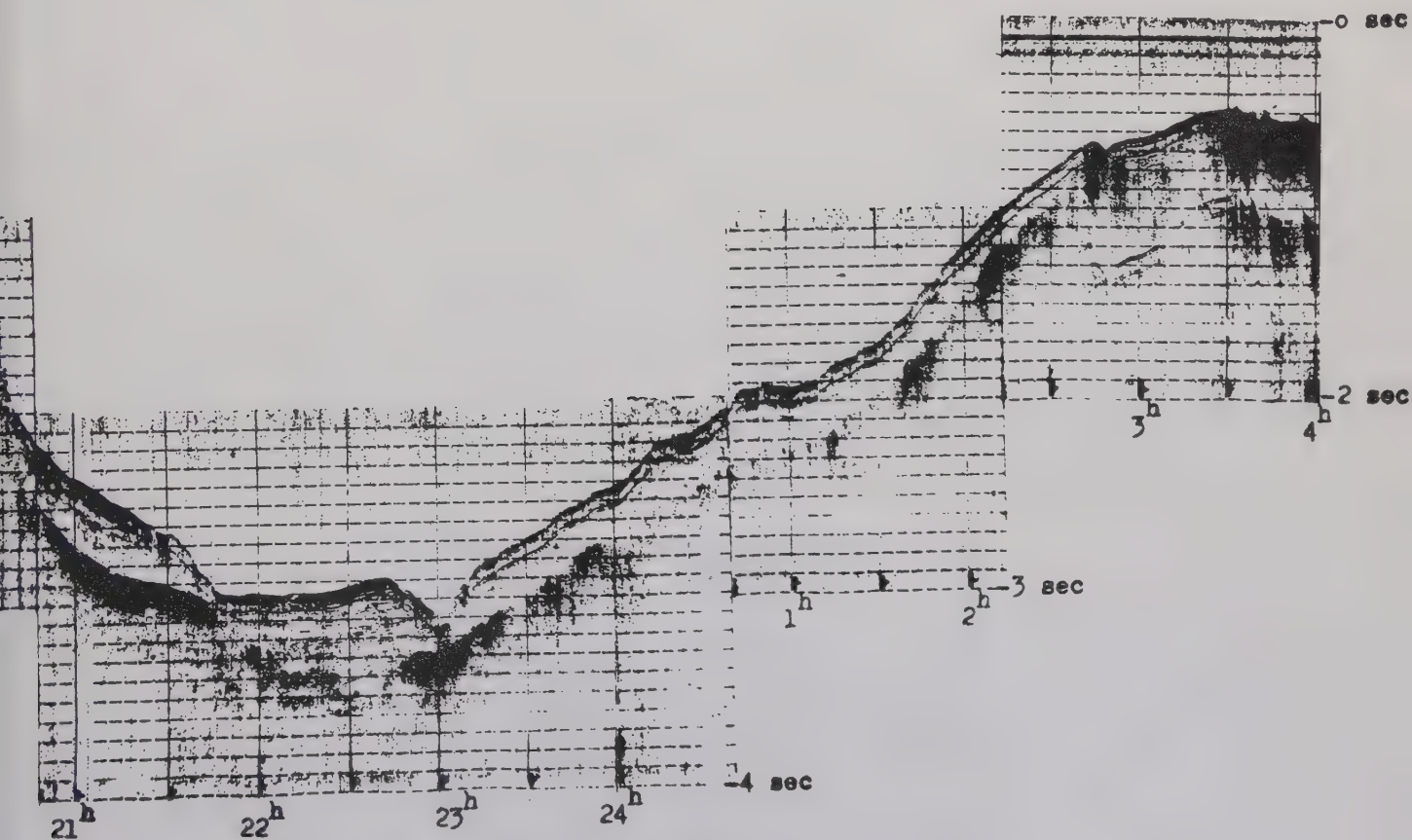
C 1

1968

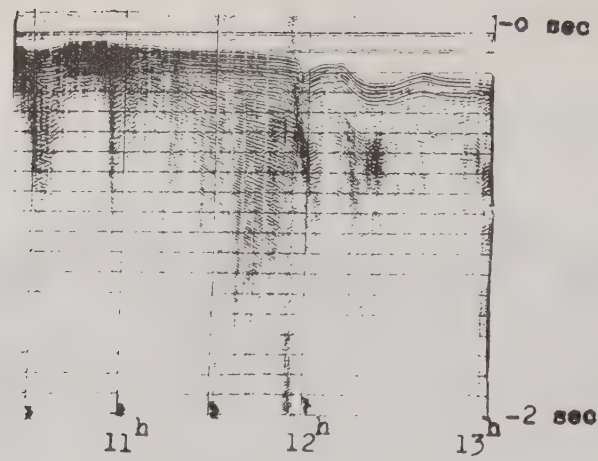


Coupe A₃ Mission Amazone 1963

a) Coupe sur le Plateau Tunisien -
Partie NE du Chenal de la Galite.



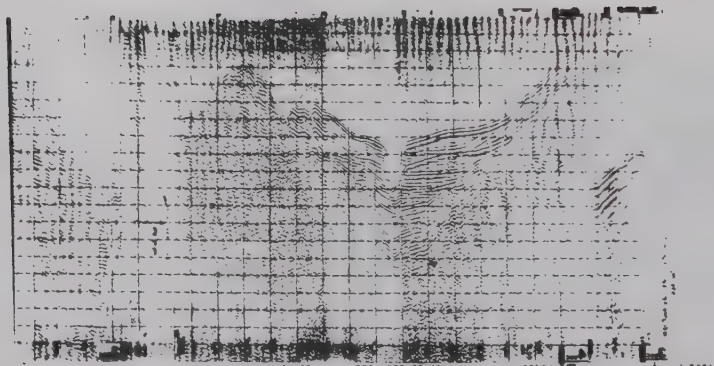
b) Coupe au niveau du Canal de Sardaigne.



a) Coupe A₃ Sud-Est Banc des Esquerquis



b) Agrandissement de la Coupe A₃ au niveau du Canal de Sardaigne.



c) Coupe G_{III} (Géomède III)

est faible, le coefficient de diffusion est sans doute important. Le niveau correspondant est fracturé en graben au niveau du canal de Sardaigne.

Sur la pente sarde entre 20 h et 20 h 30 apparaît une séquence b_4 correspondant à deux pointements qui évoquent des intrusions venant percer la séquence b_3 et la séquence superficielle.

Les séquences que nous venons de décrire se répartissent de la façon suivante : b_1 constitue le substratum de A_4 et vient se terminer à la partie S.E.⁴ de A_5 où il est relayé par la séquence b_2 qui constitue aussi le soubassement des coupes B_4B_5 . Sur les coupes B_1 et B_3 , cette séquence (b_2) vient se terminer, comme sur A_3 , à la limite pente-plateau. Sur la pente (profils B_1 , B_2 , B_3 , A_3), le substratum donne une séquence³ de type b_3 avec des intrusions semblables à b_4 .

Enfin, au fond du canal de Sardaigne, la coupe A_3 , révèle, sous la séquence "a", un réflecteur " b_5 " fracturé et érodé. Il est caractérisé par l'existence de réflecteurs acoustiques bien stratifiés, de forte intensité. Deux lambeaux sont particulièrement nets, l'un entre 20 h 45 et 21 h 15 sur le flanc sarde, l'autre entre 22 h 45 et 23 h 15 sur le flanc tunisien. L'enregistrement réalisé à l'aide d'un canon à air de grosse puissance au cours de la Mission Géomède III (Photo 25) montre que le canal de Sardaigne est affecté d'un léger mouvement de subsidence apparent dans la séquence "a".

b) - Interprétations

α) Nous avons vu que la séquence superficielle occupe en les comblant les anciennes dépressions dues à l'érosion ou à des phénomènes tectoniques et en particulier un grand sillon qui occupe le canal de la Galite entre le banc des Esquerquis et Bône. Cette gouttière semble prolonger la dépression du Fetzara et la plaine de Bône.

Nous en concluons que la majeure partie de cette séquence correspond aux sédiments plioquatéraux, conclusion conforme à celle d'autres auteurs ayant travaillé autour du bassin méditerranéen (CF. Bibliographie de l'Introduction).

β) Pour interpréter les réflecteurs durs, nous devons distinguer :

- La séquence b_1 : elle correspond à des niveaux qui prolongent les terrains éocènes du Cap Blanc. De plus, L. DANGEARD signale avoir dragué à bord du "Pourquoi pas" en 1923 des marnes schisteuses et des grès en plaquettes de l'Eocène sur l'axe Ile Cani- Banc des Esquerquis. La nature lithologique de ces éléments explique bien le faciès acoustique de la séquence. Il nous paraît donc logique d'assimiler le niveau responsable de b_1 aux couches éocènes.
- La séquence b_2 : par continuité avec les structures terrestres (CASTANY, 1959 - JAUZEIN, 1962 - SOLIGNAC, 1927 - rencontrées sur le littoral entre le Raz Ben Sehka et Bône, nous sommes amenés à considérer ce niveau comme le prolongement en mer de la nappe Numidienne. Le matériel de type flysch (grès alternant avec des marnes micacées très indurées) qui constitue l'essentiel de cette nappe peut expliquer facilement le "faciès acoustique" qui caractérise la séquence.
- La séquence b_3 : en continuité avec le matériel paléozoïque qui constitue la partie S.E. de la Sardaigne, très proche de par sa position (à la Charnière du plateau et de la pente) du matériel paléozoïque de la Galite, elle correspond probablement au socle paléozoïque.

Avec BUROLET (1969), nous situons donc la limite entre le socle paléozoïque et le matériel Numidien à la limite du plateau continental tunisien.

- Les intrusions correspondant à la séquence b_4 , nous semblent devoir être rattachées à des intrusions volcaniques.
- Enfin, l'interprétation de la séquence b_5 , est délicate. Compte tenu de son faciès acoustique, il peut s'agir soit, de lambeaux oligocènes soit de témoins de la transgression miocène. Nous pensons raisonnable, étant donné la position de ce réflecteur non plissé et compte tenu de l'extension des dépôts tortoniens révélée par les forages réalisés au cours de la campagne JOIDES en Méditerranée, de considérer que le réflecteur b_5 représente des sédiments miocènes et plus particulièrement le toit de la couche salifère, si développée en Méditerranée, d'âge Tortonien.

2 - La marge occidentale Sarde

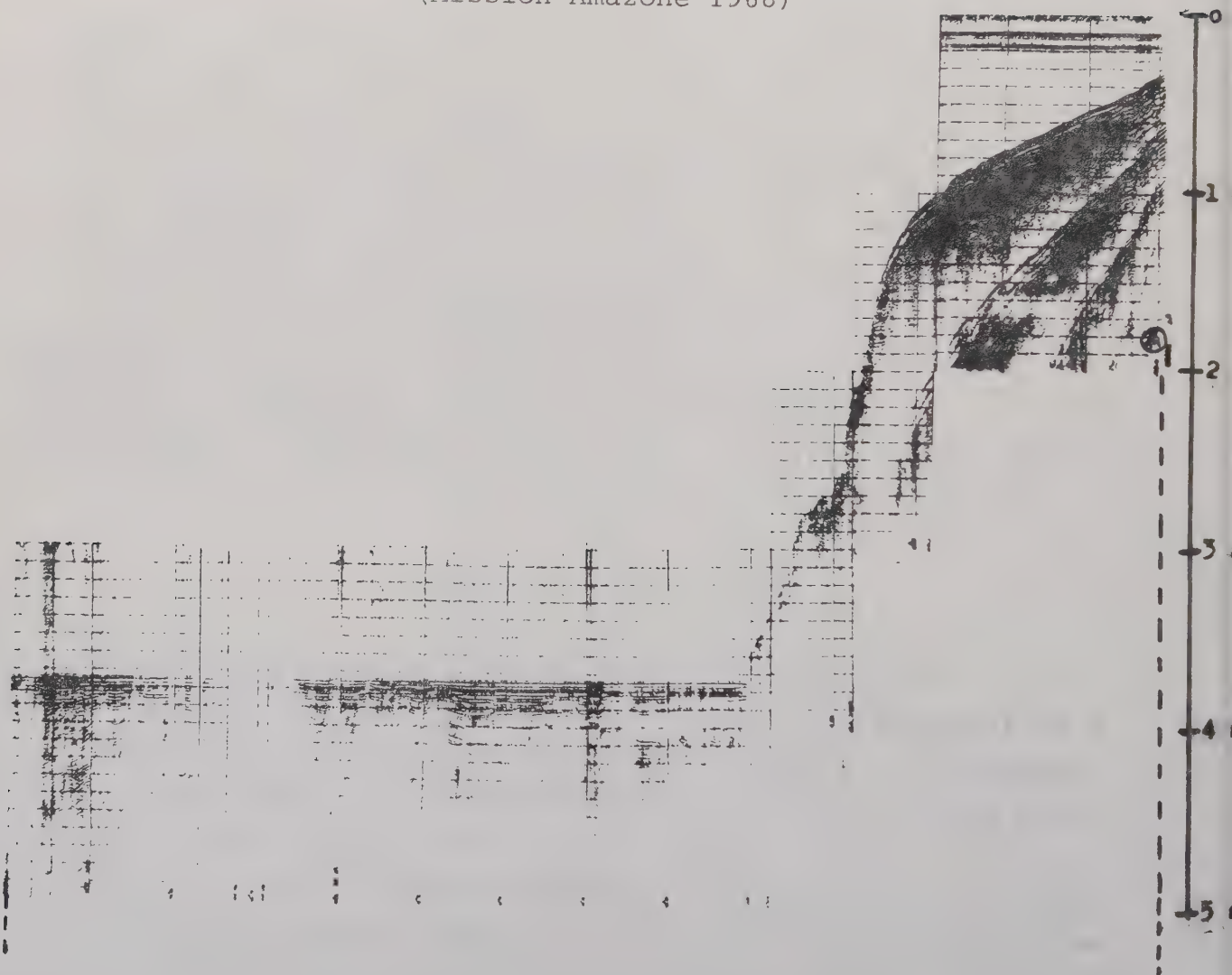
Le profil A_1 (Photo 26) orienté EW a été réalisé à la latitude ^{du} Cap Caccia, proche d'Alghero. Il nous montre la structure de la marge occidentale de la Sardaigne au niveau de la région étudiée paléomagnétiquement par nous même et De JONG et al. (1969). Sans rentrer dans le détail, nous voyons très clairement la marge Sarde se raccorder à la plaine abyssale dont la structure est très comparable à celle de la plaine abyssale Ligure. En particulier, il convient de noter l'apparition, à l'Ouest de la coupe, des structures salifères et l'absence totale de talus à l'Est. Le contact plaine-marge semble se faire par un contact de faille

Photo 26

W

La marge occidentale Sarde
au large du Cap Caccia
(Mission Amazone-1968)

E



°29'N 7°11 E

40°32 N 8°07 E

A ce niveau, le profil révèle l'existence d'une séquence superficielle caractérisée par des réflecteurs nombreux, horizontaux recouvrant une série homogène, pauvre en réflecteur. Cet ensemble correspond sans doute aux dépôts plioquatéraux décrits en mer Ligure (L. GLANGEAUD et al. 1966). Il repose sur une séquence caractérisée par des réflecteurs de forte intensité, bien stratifiés. Cet horizon classique en mer Ligure (L. GLANGEAUD et al. 1966) (J.P. REHAULT, 1968) et au large de l'Algérie (J.M. AUZENDE, 1969) est une constante de la structure de la Méditerranée. Attribué au Tertiaire (MONTADERT et al. 1970) l'âge tortonien semble confirmer à la suite des forages JOÏDES. Il s'agit du toit de la couche salifère. Nous remarquerons en particulier, sa parenté "acoustique" avec la séquence b_5 rencontrée dans le canal de Sardaigne.

III - CONCLUSION

Ce bref aperçu nous montre que la Sardaigne semble entourée tant à l'Ouest qu'au Sud par un niveau Tortonien continu, fracturé mais non plissé.

Le blocage entre le bloc Sarde et le bloc Africain semble devoir être considéré comme réalisé avant le Tortonien, comme le soulignent (L. GLANGEAUD et PH OLIVE, 1970). En particulier, les données océanographiques ne permettent pas de supposer un mouvement de rotation de la Sardaigne, depuis cette époque. Par contre, nous avons dit que les formations volcaniques antéhelvétiques Sardes étaient recouvertes, en transgression, par des dépôts marins d'âge Helvétien et Tortonien. Il est donc incontestable qu'un mouvement de surrection a affecté la Sardaigne depuis le Tortonien supérieur. Etant donné la faible distance qui sépare les dépôts tortoniens affleurant à terre à Romana (Fig. 143) et les dépôts contemporains horizontaux rencontrés au large du Cap Caccia (Photo 26) il est probable que la marge occidentale Sarde a été soumise à un important mouvement de flexure qui n'est pas nécessairement visible au niveau des formations volcaniques.

CONCLUSION A L'ETUDE PALEOMAGNETIQUE DU DOMAINE

MEDITERRANEEN ET DU MEXIQUE :

REFLEXIONS A PROPOS DE LA ROTATION DU BLOC SARDE.

L'étude que nous venons de faire nous montre très clairement qu'en l'absence de datations radiochronologiques, le paléomagnétisme ne permet absolument pas d'établir des corrélations à grandes distances. Il ne permet que de faire des subdivisions dans les unités volcaniques et au plus, d'établir des corrélations locales quand la structure des édifices volcaniques s'y prête.

Par ailleurs, notre étude nous a permis d'illustrer à propos des roches du Nord Constantinois, combien l'aimantation rémanente peut-être une propriété capricieuse et fantasque.

DE JONG et al. (1969) puis VAN DER VOO et ZIJDERVELD (1969) ont envisagé, sur la base des données paléomagnétiques, l'éventualité d'une rotation du bloc Sarde à l'oligocène supérieur. Nous avons déjà discuté (C. BOBIER - C. COULON, 1970) de ce problème. Nous voudrions y revenir ici en exprimant quelques réflexions que nous suggère la comparaison des données magnétiques et océanographiques traitées dans ce chapitre.

A partir des travaux évoqués ici, et d'autres travaux (C. BOBIER 1969) nous pouvons calculer la position d'un certain nombre de pôles géomagnétiques virtuels :

Age	Lieu d'étude	λ_p	φ_p
Pontien	Mezenc Meygal	87°N	169°E
Villafranchien	Deves	80°30N	132°30E
Villafranchien	Sancy	84°30N	108°30E
Miocène Villafranchien	Murols	85°N	121°E
Post tortonien	Sardaigne	77°30N	79°30W
Helvetien Burdigalien	Cavallo	88°N	153°30E
Pliocène supérieur	Grèce	77°N	70°30E
Astien	Mexique	82°N	167°30W
		81°30N	116°W
Plaisancien	Mexique	78°30N	133°30E
Pontien	Mexique	78°N	90°30W
Helvetien Tortonien	Mexique	43°40N	174°W
Antéhelvetien	Sardaigne	64°30N	110°30W

La plupart de ces résultats montrent bien que depuis le Miocène, le pôle géomagnétique moyen est proche d'un dipôle axiale. Les données paléomagnétiques ne semble pas permettre de définir les mouvements relatifs des divers blocs continentaux.

Par contre, deux pôles semblent diverger très nettement de cette position, le pôle antéhelvétien Sarde et le pôle Helvetien-Tortonien du Mexique. Cependant, ce dernier est entaché d'une erreur telle qu'il ne peut en aucun cas être considéré comme caractéristique. Reste à considérer le cas du pôle antéhelvétien Sarde.

DE JONG et al. (1969) puis VAN DER VOO et al. (1970) ont envisagé la possibilité d'une rotation de la Sardaigne pour expliquer ce mouvement. Or, nous avons dit que d'après DERIU (op. cité) les formations étudiées dateraient de l'Oligocène et du Début du Miocène. Cette rotation se placerait donc après le Miocène inférieur. Nous avons vu que les données océanographiques ne permettent pas d'envisager une rotation depuis le Tortonien voire l'Helvetien. Cette rotation ne peut donc être envisagée qu'au Burdigalien supérieur ou à l'Helvetien inférieur. Or, à ce moment le blocage Sardaigne - Afrique semble déjà réalisé. La rotation nous semble donc très incertaine. Dans ces conditions il convient d'expliquer la divergence du pôle. Nous avons vu, dans le Pontien du complexe Mezenc - Meygal, dans le Villafranchien du Mont Dore et au Mexique que les variations du champ local peuvent être très importantes. La variation du champ terrestre peut donc très facilement expliquer cette divergence. Certains résultats obtenus en Europe pour des roches pontiennes (cf. IRVING, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965 et Mc. ELHINNY, 1968) donnent d'ailleurs des pôles voisins du pôle déterminé pour les roches antéhelvétiques Sardes. LAUER (1970) a montré sur des laves miocènes du fossé Rhénan, la présence de directions d'aimantations divergeant largement de la direction d'un champ dipolaire axial.

Par ailleurs, l'âge des formations étudiées est dans une large mesure incertain, l'analyse de la dynamique volcanique n'a pas été faite et enfin, la flexure subie par la marge occidentale sarde peut très bien entraîner un déplacement des couches étudiées d'où un déplacement de la moyenne. Il semble logique de penser que :

- l'étude volcanologique et stratigraphique des formations étudiées est encore trop incomplète pour considérer que la résultante antéhelvétique sarde est caractéristique du champ dipolaire.

- que la divergence observée peut très bien s'expliquer par le simple jeu de la variation séculaire et de l'évolution géodynamique de la région.

En conclusion, le paléomagnétisme ne pourra permettre de faire des études sur les phénomènes géotectoniques que lorsqu'il portera sur des ensembles importants bien étudiés géodynamiquement (dynamique de l'évolution, évolution générale de la région). De plus, les mouvements tertiaires semblent délicats à mettre en évidence.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Du fait que l'aimantation thermorémanente des roches volcaniques traduisait une propriété physique de l'ensemble du globe considéré à un instant donné, certains géologues ont pu, un moment, penser que les recherches paléomagnétiques allaient permettre de résoudre le problème des corrélations à grande distance. Notre travail montre que cela n'est malheureusement pas le cas, car le champ magnétique n'évolue pas dans le temps, de façon irréversible. Sens et direction peuvent avoir, à des âges différents, les mêmes caractéristiques en un point donné. Les recherches que nous avons poursuivies aussi bien dans le Velay et le Sancy qu'au Mexique et en Algérie, montrent clairement quelques-unes des difficultés que l'on rencontre : variation séculaire créant un bruit de fond largement supérieur à la variation lente du champ moyen, aimantations parasites, difficultés de récaler les inversions rencontrées dans une zone donnée pour le Plio-Villafranchien sur l'échelle des inversions reconnues depuis le Tertiaire moyen, etc... Cela veut-il dire que le paléomagnétisme ne peut pratiquement rien apporter au stratigraphe. Nous ne partageons pas du tout cette opinion que certains géophysiciens sont très prêts d'accepter.

Si le paléomagnétisme est incapable d'apporter des éléments décisifs, irréfutables au sens où l'entendent les physiciens, il est susceptible de contribuer à l'établissement de ces faisceaux de présomptions dont doivent souvent se satisfaire les géologues, spécialement ceux travaillant dans les zones volcaniques. De plus, c'est une méthode qui peut permettre d'envisager des hypothèses de travail.

Il est bien certain, en effet, que si en deux ou trois points d'un même massif, le géologue trouve des successions de coulées dont les directions d'aimantations varient de façon similaire, il peut logiquement penser que les phases d'activité du volcanisme sont synchrones. Cela lui permettra d'envisager certains synchronismes entre les diverses coulées.

Partant de là, il lui appartiendra, bien sûr, de vérifier si les autres techniques dont il dispose vont dans le même sens ou s'opposent à ces conclusions.

En fait, le mode d'utilisation des données magnétiques dépend essentiellement de trois facteurs :

- la nature du problème à traiter
- le type de l'activité volcanique
- l'âge de la formation considérée.

Si la mise en place des roches (nappes de lave des boucliers hawaïens) se fait synchroniquement sur une grande surface, l'analyse des caractères magnétiques de séries verticales permettra d'établir des corrélations latérales en tenant compte du sens de l'aimantation et éventuellement de la direction. Le paléomagnétisme peut alors intervenir comme technique de reconnaissance préalable.

Par contre, dans les volcans complexes comme celui de Sancy, le paléomagnétisme seul ne permet pas de tirer de conclusions valables, les coulées étant par trop imbriquées les unes dans les autres. Ici, le paléomagnétisme intervient pour contribuer à la reconnaissance des phases d'activité, et par là, conduit à envisager des corrélations. Cette intervention ne sera efficace que si les données magnétiques s'appuient sur une étude géologique préalable aussi complète que possible.

Si, nous abordons le problème des déterminations d'âge, nous devons dire que le paléomagnétisme ne confirme pas les espoirs qu'il avait fait naître. Si, dans les séries anciennes (Permien, Carbonifère), la direction moyenne de l'aimantation peut permettre de proposer un âge, (il reste cependant à prouver que la variation lente du champ moyen est un phénomène irréversible ou que les dérives continentales sont irréversibles), par contre, dans les roches tertiaires, le paléomagnétisme ne permet pas de préciser le niveau de la formation. Les datations radiochronologiques sont indispensables. Toutefois, la combinaison du paléomagnétisme et de la radiochronologie permet, dans certains cas, d'affiner le pouvoir de résolution dans le temps et de proposer des schémas d'évolution. Il peut surtout permettre de préparer logiquement au programme de datations radiochronologiques et en limiter le nombre.

De cet exposé très général, nous devons donc retenir essentiellement que le paléomagnétisme n'est pas une technique miracle du fait que le champ magnétique terrestre est très capricieux. Mais il peut permettre d'établir des corrélations à diverses échelles de temps ou d'analyser avec une certaine précision, le dynamisme d'un volcan complexe en apportant dans ce cas des arguments, non des preuves irréfutables, pour la reconnaissance des éruptions synchrones (séparées par quelques années).

Du point de vue strictement pratique une étude sérieuse doit, à notre sens, être conduite en deux temps :

- Après une analyse préalable sur carte du type de volcanisme et du problème qui peut être abordé, une première campagne de prélèvements est décidée. Elle doit être centrée sur la reconnaissance des "qualités magnétiques" des roches et permet d'envisager certaines hypothèses. L'étude des régions volcaniques du Nord Constantinois montre l'intérêt de cette prospection.

- à la lumière des résultats, il est ensuite possible de définir un second programme de prélèvements, détaillé, tenant compte des problèmes qui peuvent être effectivement résolus en fonction de la nature des roches utilisables.

Au terme de ce travail, il nous semble que l'étude des propriétés magnétiques des roches volcaniques est un complément indispensable des études morphologiques, pétrographiques et géochimiques pour analyser avec soin l'évolution géodynamique des massifs volcaniques tertiaires.

Ce n'est pas une méthode autonome mais une technique s'intégrant dans la méthode d'étude des volcans anciens.

B I B L I O G R A P H I E

AUZENDE J.M., 1969 -

Etude par sismique réflexion de la bordure continentale
Algéro-tunisienne entre BOUGIE & BIZERTE.

Thèse doctorat 3ème cycle Paris.

AUZENDE J.M., PAUTOT G., 1970 -

La marge continentale algérienne et le phénomène de subsidence : exemple du Golfe de Bougie.

C.R. Acad. Sci. Paris, Série D, t. 271, p. 1945-1948

BERRY M.J., KNOPOFF F., 1967 -

Structure of the Upper Mantle under the Western Mediterranean Basin :

Journ. Geophys. Research, vol. 72, n° 14, p. 3613-3626

BERTRAND-ROUX dit BERTRAND de DOUE, 1823 -

Description géognostique des environs du Puy en Velay et particulièrement du bassin au milieu duquel cette ville est située.

In 8, p 240.

BIQUAND D., 1970 -

Applications du Paléomagnétisme à la résolution de Problèmes stratigraphiques :

Difficultés et limites actuelles de la Méthode.

Colloque sur les Méthodes et les tendances de la Stratigraphie. Orsay Octobre 1970 (Sous Presse)

BIQUAND D., PREVOT M., 1970 -

Comparaison des directions d'aimantation rémanente observées dans les roches volcaniques et sédimentaires - Mio-Pliocènes du Velay -

Colloque sur les Méthodes et les Tendances de la Stratigraphie - Orsay, Octobre 1970 (Sous Presse)

BOBIER C. et GLANGEAUD L., 1959 -

Géodynamique et volcanisme du Fossé de Montbrion et du Horst du Forez, (Morphotectonique, paléovolcanologie et paléomagnétisme).

Bull. Soc. Géol. de France, 7e série, t. I, p 867-880

BOBIER C., 1960 -

Contribution à l'étude du versant oriental des Monts du Forez et de la plaine de Montbrison.

D.E.S. Paris.

BOBIER C., LEPVRIER J.C., 1963 -

Quelques résultats d'une étude paléomagnétique détaillée du Massif du Sancy.

In : "Comptes-rendus 88ème Congrès Nation. Soc. Sav. Clermont-Ferrand, Sect. Sci. II, p 165-77."

BOBIER C., MACLE M., 1967 -

Contribution des méthodes paléomagnétiques à l'étude volcanologique du Massif du Meygal (Velay).

C.R. Acad. Sci. Paris, sér. D, t. 265, n° 9, p. 660-662.

BOBIER C., 1968 -

Recherches paléomagnétiques sur les formations éruptives miocènes du littoral-nord Constantinois.

Rapports scientifiques. R.C.P. C.N.R.S. Nord Constantinois

BOBIER C., 1968 -

Etude paléomagnétique de quelques formations du complexe volcanique d'Almopias (Macédoine centrale, Grèce).

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 267, n° 13, p. 1091-1094

BOBIER C., 1969 -

Etude paléomagnétique des basaltes du Plateau du Velay.

C.R. Acad. Sci. Paris, série D, t. 268, p. 20-23

BOBIER C., 1970 -

L'utilisation des propriétés magnétiques des roches
en stratigraphie.

Colloque sur les Méthodes et les tendances de la Stratigraphie. Orsay Octobre 1970 (Sous Presse)

BOBIER C., ROBIN C., 1969 -

Etude paléomagnétique du massif éruptif de Cavallo
(Nord-Constantinois, Algérie).

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D., t. 269, n° 2, p. 134-137

BOBIER C., COULON C., 1970 -

Résultats préliminaires d'une étude paléomagnétique des
formations volcaniques tertiaires et quaternaires du
Logudoro (Sardaigne Septentrionale)

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 270, p. 1434-1437

BOCCALETTI M., GUAZZONE G., 1970 -

La migrazione terziaria dei Bacini Toscani e la rotazione
dell'Appennino settentrionale in una "Zona di torsione"
per deriva continentale.

Mem. Soc. Geol. It. 9, p. 177-195

BOER J., 1965 -

Paleomagnetic indications of megatectonic movements in
the Tethys.

Journ. Géophys. Research vol. 70, n° 4, p. 931 - (44
réf.)

BONHOMMET N., BABKINE J., 1966 -

Sur une direction anormale du champ magnétique terrestre
au cours du Quaternaire récent.

C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. B, t. 262, p. 919-921

BONHOMMET N., BABKINE J., 1967 -

Sur la présence d'aimantation inversée dans la chaîne des
Puis.

C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. B, t. 264, p. 92-94

- BONHOMMET N., ZHRINGER J., 1969 -
Paleomagnetism and Potassium Argon age determinations
of the Laschamp geomagnetic polarity event.
Earth planet. Sci. Letters, Netherl., 6, n° 1, p. 43-46.
- BOULE M., 1892 -
Description géologique du Velay. Thèse.
Bull. Serv. Carte géol. de France, n° 28, 4e ann.
- BOULE M., 1893 - (réimprimé 1941) -
Carte géologique le Puy en Velay 1/80.000°
- BOULE M., 1893 -
Excursion du Puy à Langogne in Réunion extr. de la
S.G.F. dans le Velay et la Lozère.
Bull. Soc. géol. de France, t. XXI, p. 618.
- BOULE M., 1906 -
L'âge des derniers volcans de la France.
La Géographie, t. XIII, p. 177-275
- BOULE M., 1907 -
Complément à la communication de M. LAURENT sur les ter-
rains sédimentaires du Velay.
Bull. Soc. géol. de France, t. 7, p 386.
- BOUT P., 1933 -
Observations géologiques sur le plateau de Perrier, la
région de Malbattu et les terrasses d'Issoire.
Bull. Soc. Hist. Nat. d'Auvergne, p. 38.
- BOUT P., 1949 -
Les dépôts de pente villafranchiens du Coupet (H. Loire)
Sédimentation et Quaternaire. Congrès des Charentes, p. 195.
- BOUT. P., 1950 -
La faune de Saint-Vidal (Haute-Loire).
Bull. Soc. Acad. du Puy, t. XXXI, p. 62.
- BOUT P., 1963 -
Le villafranchien du Velay et du bassin hydrographique

moyen et supérieur de l'Allier, corrélations françaises et européennes.

Thèse Paris 1960, Imp. J. d'Arc Le Puy - 1963

BOUT. P., 1966 -

Histoire géologique et mophogénèse du système Velay-S.E. Boutières-Coirons.

Revue Géogr. phys. Géol. dyn., (2), 8, fasc. 3, p.225-252.

BOUT P., 1966 -

Problèmes du volcanisme, I les méthodes de datation des formations éruptives.

Rev. d'Auvergne, t. 80, n° 1, P. 61.

BOUT P., FRECHEN H.J., LIPPOLT H.J., 1966 -

Datations stratigraphiques et radiochronologiques de quelques coulées basaltiques de Limagne.

Rev. d'Auvergne, t. 80, n° 4, p. 207.

BOUT P., 1967 -

Problèmes du volcanisme.

Ext. de la revue d'Auvergne, t. 81, n° 1.

BOUT P., 1969 -

Datations absolues de quelques formations volcaniques d'Auvergne et du Velay et chronologie du Quaternaire européen. Actes du colloque de géomorphologie volcanique du Comité National de Géographie, p. 45-58.

BROUSSE R., 1960 -

Minéralogie et pétrographie des roches volcaniques du Massif du Mont-Dore (Auvergne).

Thèse Paris.

BRUN A., 1967 -

Etude palynologique des cinérites et tufs du vallon de Vendeix au Mont-Dore (Puy-de-Dôme).

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 265, p. 1172-1174.

BRUN A., 1969 -

Stratigraphie et paléoclimatologie villafranchiennes
des dépôts volcaniques du Mont-Dore.

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 268, p. 1026.

BRUN A., 1970 -

Stratigraphie, paléomorphologie et paléoclimatologie
du Villafranchien dans le Massif Central.

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 270, p. 2907-2910.

BRUN A., GLANGEAUD M., 1967 -

Etude palynologique et géodynamique de la formation
de la Bourboule (France).

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D., p. 1765-1768.

BRUNHES B., 1905 -

Sur la direction de l'aimantation permanente dans une
argile de Pontfavein.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 141, p. 567.

BRUNHES B., 1906 -

Recherches sur la direction d'aimantation des roches
volcaniques.

J. de Phys., 4^es, 5, p. 705-724.

BRUNHES B., DAVID P., 1903 -

a) Etude des anomalies du champ géomagnétique terrestre
sur le Puy de Dôme.

J. de Phys., 4^e s., t. 1, p. 202-205.

BRUNHES B., DAVID P., 1903 -

b) Sur la direction de l'aimantation permanente de di-
verses roches volcaniques.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 137, p. 975

BUROLLET, 1969 -

In the exploration for Petroleum in Europe and North
Africa p. 19-30

CANTAGREL J.M., MERGOIL J., 1970 -

Mesure, par la méthode de l'Argon, de l'âge de quelques roches volcaniques du Velay Oriental (Massif Central français)

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 271, p. 760-763.

CASTANY G., 1959 -

La géologie profonde du territoire Tunisie - Sicile.

Sur "La topographie et la géologie des profondeurs océaniques"

Coll. Int. C.N.R.S. Villefranche s/Mer.

CHEVALLIER R., 1925 -

L'aimantation des laves de l'Etna et l'orientation du champ terrestre en Sicile du XIIe au XVIIIe siècles.

Thèse Paris 1925 et Ann. de Phys. 10e s., 4, p. 5-162.

COE R.S., 1967 -

Paleo-intensities of the earth's magnetic field determined from tertiary and quaternary rocks.

Journ. Geophys. Research., vol. 72, n° 12, p. 3247-3261.

COULOMB J., 1943 -

Sur l'aimantation des roches due à des grains disséminés.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 216, p. 351.

COX A., DALRYMPLE G.B., 1967 -

Statistical analyses of geomagnetic reversal data and the precision of potassium-argon dating.

Journ. Geophys. Research, v. 72, n° 10, p. 2603-2614.

COX A., DOELL R.R., 1968 -

Paleomagnetism and quaternary correlation, in means of correlation of quaternary succesions.

Int. Assoc. Quaternary Research, 7th Cong., U.S.A. 1965, Proc.,

v. 8, Salt Lake City, Utah, Univ. Utah Press, p. 253-265

COX A., 1969 -

Geomagnetic reversals.

Science, v. 163, n° 3864, p. 237-245.

DAVID P., 1904 -

Sur la stabilité de l'aimantation de quelques roches volcaniques.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 138, p. 41.

DE JONG K.A., MANZONI M., 1968 -

Paleomagnetismo e cronologia delle colate basaltiche di Orosei Sardegna.

Bull. Soc. Geol. Ital. t. 87, n° 4, p. 713-717

DE JONG K.A., MANZONI M., ZIJDERVELD J.A. - 1969

Nature vol. e 24, p. 67.

EMBLETON B.J.J., 1969 -

Evidence of rapid polar shift from the paleomagnetic records of Eurasia.

Nature, G.B., 222, n° 5198, p. 1036-7

FISHER R.A., 1953 -

Dispersion on a sphere

Prog. Roy. Soc., A. 217, p. 295.

GABIN R., 1970 -

Etude des structures géologiques sous marines de la Mer du Nord-Tyrrhenienne et du Canal de Corse.

Thèse Doctorat 3e Cycle, Paris.

GIRDLER R.W., 1968 -

Drifting and rifting of Africa.

Nature, v. 219, n° 5154, p. 600.

GLAÇON G., GUIRAUD R., 1970 -

La série Mio-Pliocène du Hodna et des régions voisines (Algérie du Nord)

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 271, p. 945-948

GLANGEAUD Ph., 1919 -

Le Massif Central de la France.

Ex. de l'Ouvrage publié par Univ. de Cl-Ferrand, l'Université et le Pays d'Auvergne, n° Inv. 916.

GLANGEAUD L., 1926 -

Sur un curieux lambeau de roches grenues au Djebel Arroudjaoud (Algérie).

Ex. du C.R.S. Soc. Géol. de France, n° 12, p. 120-121.

GLANGEAUD L., 1926 -

Sur les premières éruptions Néogènes dans le Nord de la province d'Alger.

A.F.A.S. Congrès de Lyon, p. 299-301.

GLANGEAUD L., 1943 -

Evolution des magmas du Massif volcanique du Mont-Dore. Essai d'interprétation géophysique.

Bull. Soc. Géol. Fr. 6ème Série, t. XIII, p. 419-440.

GLANGEAUD L., 1947 -

Orogénèse et Pétrogénèse profonde d'après les théories géophysiques nouvelles.

Revue Scientifique n° 3286-3287 fasc. 18, p. 1107-1121.

GLANGEAUD L., 1951 -

Interprétation tectonophysique des caractères structuraux et paléogéographiques de la Méditerranée Occidentale.

Bull. Soc. Géol. Fr. (6) t. I p. 735-762.

GLANGEAUD L., 1952 -

Sur les relations entre les continents et les océans.

Ann. Géophy. t. 8 n° 1 p. 121-124.

GLANGEAUD L., 1955 -

Les déformations Plio-Quaternaires de l'Afrique du Nord.

Geologischen Rundschau. Bard. 43, R. 1, p. 181-196

GLANGEAUD L., 1961 -

Paléogéographie dynamique de la Méditerranée et de ses bordures. Le rôle des phases Ponto-Plio-Quaternaires.

In "La Topographie et la Géologie des Profondeurs océaniques.

Coll. int. C.N.R.S. Villefranche s/Mer.

GLANGEAUD L., 1962 -

Les transferts d'échelle en géologie et géophysique.
Application à la Méditerranée Occidentale et aux
chaînes péripacifiques.

Bull. Soc. Géol. Fr. (7) t. IV p. 912-961

GLANGEAUD L., 1967 -

Epirogénèse Ponto-Plio-Quaternaire de la marge conti-
nentale franco-italienne du Rhône à Gênes.

Bull. Soc. Géol. Fr. (7) t. IX p. 426-449

GLANGEAUD L., 1968 -

Les méthodes de la géodynamique et leurs applications
aux structures de la Méditerranée occidentale.

Ext. "Revue Géog. Phys. et de Géol. Dynam", v. X,
fasc. 2, p. 83-135.

GLANGEAUD L., GARDE G., 1939 -

Carte géologique Clermont-Ferrand. 1/80.000°

GLANGEAUD L., LEMONNIER J.C., 1958 -

L'évolution volcanotectonique du Massif du Mont-Dore
pendant le Mio-Pliocène (Auvergne)

Bull. Soc. Géol. France, 6, t. VIII, p. 797-804

GLANGEAUD L., BOBIER C., 1960 -

Morphotectonique et paléovolcanologie du Forez oriental
et de la plaine de Montbrison.

C.R. Acad. Sc. t. 250, p. 162-164

GLANGEAUD L., BOBIER C., 1963 -

Corrélations entre le paléomagnétisme et les phases oro-
géniques pendant le tertiaire.

Ext. C.R. Som. Sanc. de la Soc. Géol. de France, n° 1,
p. 7.

GLANGEAUD L., DUMESNIL P., VIGNERON M., 1965 -

Paléomagnétisme et âge absolu des séries volcaniques vil-
lafranchiennes du Mont-Dore (France)

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 261, Gr. 9, p. 5168-5171.

GLANGEAUD L., BOBIER C., DUMESNIL P., LETOLLE R., LEPVRIER C.,
VIGNERON M., 1965 -

Géochronologie et évolution paléomagnétique géochimique,
pétrologique et tectonophysique du massif volcanique du
Mont-Dore (France).

Note présentée à la séance du 29 Décembre 1965, Bull.
Soc. Géol. de France (7), VII, p. 1010-1025.

GLANGEAUD L., ALINAT J., POLVECHE J., GUILLAUME A., LEENHARDT O.,
1966 -

Grandes structures de la Mer Ligure, leur évolution et
leurs relations avec les chaînes continentales.

Ext. Bull. Soc. Géol. France, 7e série, t. VIII, p. 921-937.

GLANGEAUD L., ALINAT J., AGARATE C., LEENHARDT O., PAUTOT G., 1967 -

Les phénomènes ponto-plio-quaternaires dans la Méditerranée
occidentale d'après les données de Géomède 1.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 264, p. 208-211.

GLANGEAUD L., BOBIER C., BELLAICHE G., 1967 -

Evolution néotectonique de la mer d'Alboran et ses consé-
quences paléogéographiques.

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 265, p. 1672-1675.

GLANGEAUD L., REHAULT J.P., 1968 -

Evolution ponto-plio-quaternaire du golfe de Gênes.

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 266, p. 60-63

GLANGEAUD L., BRUN A., BOBIER C., GRANGEON P., IAWORSKY G.,

DE LUMLEY H., LETOLLE R., 1969 -

Livret-guide de l'Excursion A 9 :

Massif Central et Bordure Méditerranéenne.

VIII Congrès INQUA Paris.

GLANGEAUD L., BOBIER C., SZEPE B., 1970 -

Les structures mégamétriques de la Méditerranée : la
mer d'Alboran et l'"arc" de Gibraltar.

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 271, p. 473-478

GLANGEAUD L., OLIVE Ph., 1970 -

Structures mégamétriques de la Méditerranée.

Evolution de la Mésogée de Gibraltar à l'Italie.

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 271, p. 1161-1166.

GRANGEON P., 1951 -

Etude d'un nouveau gisement de plantes fossiles tertiaires et de quelques nouvelles espèces découvertes à Ceyssac.

Bull. Soc. Géol. France, (6), t. I, p. 75.

GRENET G., 1945 -

Quelques mesures d'aimantation permanente de roches du massif central et remarques sur les méthodes de détermination de la valeur du champ magnétique terrestre dans le passé.

Ext. Annales de géophysique, t. I, fasc. 3.

HERPIN A., 1968 -

Théorie du magnétisme.

Institut National des Sciences techniques nucléaires

et Presses Universitaires de France, éditeurs 1968 p. 882

HILLY J., 1952 -

Présence de Burdigalien dans les massifs du Cap de Fer et de la Kabylie de Collo - (Nord-Constantinois Algérie)

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 234, n° 10, p. 1073-1075.

HILLY J., 1957 -

Etude géologique du Massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est Constantinois)

Thèse Nancy 408 p. et Serv. Cart. Géol. Algérie

Bull. n° 191 - 1962.

HOSPERS J., VAN ANDEL S.I., 1968 -

Paleomagnetic data from Europe and North America and

their bearing on the origin of the North Atlantic Ocean.

Tectonophysics, Netherl., 6, n° 6, p. 475-90

IRVING E., 1956 -

Paleomagnetic and paleoclimatological aspects of polar wandering.

Geof. pur. et appl. 33, p. 23-41.

IRVING E., 1959 -

Paleomagnetic Pole Positions; A Survey and Analysis.

Reprint. from. Geophys. J. Roy. Ast. Soc., vol. 2, n° 1.

IRVING E., 1960 -

a) Paleomagnetic Pole Positions, Part 1 Pole Numbers 1/1 to 1/144.

Geophys. Journ. of the Roy. Ast. Soc. G.B. vol. 3, n° 1.

IRVING E., 1960 -

Paleomagnetic directions and pole position Part II Pole numbers 2/1 to 2/41 and 1/71 (m.1).

Geophys. Journ. of Roy. Ast. Soc. G.B., t. 3, n° 4, p. 444-449.

IRVING E., 1961 -

Report on Progress in Geophysics Paleomagnetic directions and pole Positions, PART III, Pole Numbers 3/1 to 3/87.

Geophys. Journ. of the Roy. Ast. Soc. G.B. vol. 5, n° 1.

IRVING E., 1962 -

Paleomagnetic directions and pole positions part IV pole Numbers 4/1 to 4/34 part. I, v. 3, n° 1.

Geophys. Journ. of Roy. Ast. Soc. G.B. vol. 6, n° 2, p. 263-267.

IRVING E. 1962 -

Report on progress in geophysics Paleomagnetic directions and pole Positions, Part V. Numbers 5/1 to 5/95.

Geophys. Journ. of the Roy. Ast. Soc. G.B. Vol. 7, n° 2, p. 263-274.

IRVING E., STOTT P.M., 1963 -

Paleomagnetic Directions and Pole Positions Part VI. Numbers 6/1 to 6/73.

Geophys. Journ. of the Roy. Ast. Soc. G.B. vol. 8, n° 2 p. 249-257.

IRVING E., 1964 -

Paleomagnetism and its applications to geological and geophysical problems.

Wiley New-York, 399 p.

IRVING E., 1965 -

Paleomagnetic directions and pole positions. VII numbers 7/1 to 7/80.

Geophys. Journ. of. Roy. Ast. Soc. G.B., vol. 9, n° 2-3 p. 185-94.

IRVING E., BRIDEN J.C., 1962 -

Paleolatitude of Evaporite Deposits. Nature vol. 196, n° 4853, p. 425-428.

IRVING E., 1967 -

Paleomagnetic evidence for shear along the Tethys.

Syst. Assoc. Public. n° 7, Aspect of Tethyan Biogeography Ed. G.G. Adams & D.V. Ager, p. 59-76.

IRVING E., ROBERTSON W.A., 1969 -

Test for polar wandering and some possible implications.

Journ. Geophys. Research U.S.A., 74, n° 4, p. 1026-36

JACQUET C., 1929 -

Magnetisme des roches volcaniques.

Bull. Inst. Phys. du Globe du Puy de Dôme, n° 1.

JAUZEIN A., 1962 -

Contribution à l'Etude Geologique de la Tunisie Septentrionale.

Les confins de la Dorsale tunisienne (zone des dômes et sahels).

Thèse Paris.

LAVER J.P., 1970 -

Présence d'aimantations rémanentes à inclinaison faible dans les formations volcaniques Miocène du Kaiserstuhl (Bade. Allemagne).

Colloque sur les méthodes et les tendances de la stratigraphie. Orsay Octobre 1970 (Sous presse).

LE BORGNE E., 1960 -

Etude expérimentale du trainage magnétique dans le cas d'un ensemble de grains magnétiques très fins dispersés dans une substance non magnétique.

Ext. des ann. de géophys. T. 16, n° 4.

LE BORGNE E., 1955 -

Susceptibilité magnétique du sol.

Thèse Paris 1955, Rev. Fac. Sc. Istanbul, fasc. 2 & 3.

LECLAIRE L., 1968 -

Contribution à l'étude géomorphologique de la Marge continentale algérienne.

Cahiers Océan. XXème Année n° 6.

LEMONNIER J.C., 1960 -

Contribution à l'étude du Massif du Puy de Sancy (Puy-de-Dôme)

D.E.S. Paris.

LEPVRIER C., 1962 -

Paléomagnétisme des laves et contribution à l'étude du socle du Mont-Dore.

D.E.S. Paris.

LETOLLE R., 1968 -

Datation par la méthode Potassium-Argon des terrains Pliocènes et Quaternaires.

Rev. Geogr. phys. et Geol. dyn. (2) vol. X, fasc. 1
p. 65-76.

Mc ELHINNY M.W., 1968 -

Paleomagnetic directions and pole positions (Pt) 8,
Pole numbers 8/1 to 8/186.

Geophys. Journ. of the Royal Ast. Soc. G.B. vol. 15,
n° 4, p. 409-430.

Mc ELHINNY M.W., 1968 -

Paleomagnetic directions and pole positions (Pt) 9,
Pole numbers 9/1 to 9/159.

Geophys. Journ. of the Royal Ast. Soc. G.B. vol. 16
p. 207-224.

- Mc ELHINNY M.W., BRIDEN J.C., JONES D.L., BROCK A., 1968 -
Implications géologiques et géophysiques des résultats
paléomagnétiques de l'Afrique.
Rev. Geophys. E.S.A. 6, n° 2, bibl. (4p.) p. 201-38
- MACLE M., 1967 -
Contribution à l'étude géologique et paléomagnétique du
Massif du Meygal.
D.E.S. Paris.
- MICHEL A., 1966 -
Phénomènes magnétiques et structure.
Masson et Cie, Editeurs 1966 - 140 p.
- MICHEL-LEVY A., 1891 -
Situation stratigraphique des régions volcaniques de
l'Auvergne.
Bull. Soc. Géol. de France, 3e série, t. XVIII, p. 688.
- MONTADERT L., SANCHO J., FAIL J.P., DEBYSER J., WINNOCK E.,
De l'âge tertiaire de la série salifère responsable des
structures diapiriques en Méditerranée Occidentale
(N.E. Baléares)
C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 271, p. 812-815
- NAIRN A.E.M., 1960 -
Paleomagnetic results from Europe.
Journ. Geology., v. 68, p. 286-306.
- NAIRN A.E.M., 1962 -
Paleomagnetic Investigation of the Tertiary and
Quaternary Igneous Rocks. 1) Preliminary Collections in
the Eifel, Siebengebirge and Westerwald.
Notiz bl. hess. L. Amt. Bodurforsch 90, p. 412-424.
- NAIRN A.E.M., WESTPHAL M., 1967 -
Sur l'aimantation de rhyolites permienes de Corse.
C.R. Acad. Sci. Paris, t. 265, n° 4, p. 319-321.

NAIRN A.E.M., WESTPHAL M., 1967 -

A second virtual pole for Corsica, the Ota gabbrodiorite
Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol. Netherl., vol. 3,
n° 2, p. 277-286.

NAIRN A.E.M., ROCHE A., WESTPHAL M., ZIJDERVELD J. D.A., 1967 -

Sur l'aimantation de deux coulées volcaniques tertiaires
en Provence.

C.R. Som. Soc. Géol. France, fasc. 8, p. 360.

NAIRN A.E.M., 1967 -

Paleomagnetic investigations of the Tertiary and Quaternary
igneous rocks - A paleomagnetic study of the central Slo-
vakian province (with Czech. and Russian abs.)
Ceskoslovenská Akad. Ved. Geofys. Sbornik, 1966, v. 14,
n° 252, p. 359-431.

NAIRN A.E.M., WESTPHAL M., 1967 -

Sur l'aimantation de rhyolites permienes en Corse.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 265, p. 319-321.

NAIRN A.E.M., WESTPHAL M., 1968 -

Possible implication of the paleomagnetic study of late
Paleozoic igneous rocks of northwestern Corsica.
Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol., Netherl., vol. 5,
n° 2, p. 179-204.

NAGATA T., 1953 -

Rock magnetism.

Maruzen Co, Tokyo, 225.

NEEL L., 1948 -

Théorie du ferrimagnétisme des ferrites.

Ann. Phys. 3, p. 137.

NEEL L., 1949 -

Théorie de l'aimantation thermorémanente.

Ann. Geophys., vol. 5, p. 99.

NEEL L., 1951 -

Théorie des deux types de trainage.

5, Phys. Rad., vol. 12, p. 339.

PREVOT M., 1963 -

Etude géologique et paléomagnétique du Massif du Mézenc.

D.E.S. Paris.

PREVOT M., 1965 -

Sur le champ magnétique terrestre au pliocène d'après
l'étude paléomagnétique du Massif volcanique de Mezenc.
(Velay).

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 260, n° 25, p. 6661-3.

PREVOT M., 1969 - Mise en évidence de coulées de polarité magnétique
intermédiaire dans une série volcanique miocène du Vivarais
(Ardèche).

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. B, t. 268, n° 1, p. 117-20.

PREVOT M., 1970 -

Inversions de la polarité géomagnétique et stratigraphie.
Colloque sur les méthodes et les tendances de la strati-
graphie.

Orsay Octobre 1970 (Sous Presse).

REHAULT J.P., 1968 -

Contributions à l'étude de la Marge continentale au large
d'Impéria et de la Plaine Abyssale Ligure.

Thèse Doctorat 3e Cycle Paris.

RIMBERT F., 1956 -

Sur l'action de champs alternatifs sur des roches portant
une aimantation remanente isotherme de viscosité.

C.R. Acad. Sci. 242, p. 2536-2538.

RIMBERT F., 1956 -

Sur la désaimantation par action de champs magnétiques
alternatifs de la magnétite et du sesquioxyde de fer.

C.R. Acad. Sci. 242, p. 890-893.

RIMBERT F., 1957 -

Sur l'aimantation rémanente anhystérétique des ferrimagnétiques.

C.R. Acad. Sci. 245, p. 406-408.

RIMBERT F., 1958 -

Contribution à l'étude de l'action de champs alternatifs sur les aimantations rémanentes des roches. Applications à la Géophysique.

Thèse Paris.

ROBIN C., 1970 -

Etude géodynamique du Massif volcanique du Cap Cavallo (El Aouna) Algérie.

Thèse doctorat 3e Cycle PARIS.

ROBIN C., AUZENDE J.M., 1970 -

Sur les mouvements post-volcaniques du massif de Cavallo (el Aouana - Algérie).

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. D, t. 270, p. 1430-1433.

ROCHE A., 1950 -

a) Sur les caractères magnétiques du système éruptif de Gergovie.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 230, p. 113-115

b) Anomalies magnétiques accompagnant des massifs de pépérites de la Limagne d'Auvergne.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 230, p. 1603-1604.

ROCHE A., 1951 -

Sur les inversions d'aimantation rémanente des roches volcaniques dans les Monts d'Auvergne.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 233, p. 1132-1134.

ROCHE A., 1953 -

Etude sur l'aimantation de roches volcaniques tertiaires et quaternaires d'Auvergne et du Velay.

Thèse Paris.

ROCHE A., 1958 -

Sur les variations de direction du champ magnétique terrestre au cours du quaternaire.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 246, p. 3364-3366.

ROCHE A., 1960 -

Sur l'aimantation de laves miocènes d'Auvergne.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 250, n° 2, p. 377-379.

ROCHE A., 1963 -

Stratigraphie paléomagnétique des volcans d'Auvergne Velay.

88ème Congrès des Sociétés Savantes.

ROQUET J., THELLIER E., 1946 -

Sur les lois numériques simples relatives à l'aimantation du sesquioxyde de fer rhomboédrique.

C.R. Acad. Sci. 222, p. 1288-1290.

ROQUET J., 1953 -

Sur les rémanences des oxydes de fer et leur intérêt en géomagnétisme.

Thèse Paris. Ann. de géophys. 10-1954, p. 226-247 et 282-325.

ROQUET J., 1955 -

Etude des propriétés magnétiques de roches volcaniques à aimantation naturelle inversée.

Ann. de géophys., p. 461-474.

ROUBAULT M., 1934 -

La Kabylie de Collo. Etude géologique.

Thèse Paris et Bull. Serv. Cart. géol. Algérie 2e sér. n° 10, 272 p.

RUNCORN S.K., 1955 -

Rock magnetism.

Geophysical aspects, Adv. in physics, phil. mag. sup., v. 4, p. 244-291.

RUNCORN S.K., 1959 -

Rock magnetism.

Science U.S.A., 129, n° 3355, p. 1002-1012

RUNCORN S.K., 1968 -

Polar wandering and continental drift.

Internation. Ast. Un., Symp., G.B., n° 32, p. 80-5

SERUGHETTI J., ROCHE A., 1968 -

Etude paléomagnétique de laves de l'île de Flores.

C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. B, t. 267, n° 21, p. 1185-8

SOLIGNAC M., 1927 -

Etude géologique de la Tunisie septentrionale

Serv. cart. géol. Tunisie 756 p.

TERMIER P., 1890 -

Les éruptions du Velay.

I Roches éruptives du Meygal.

II Argiles métamorphisées par la phonolite à Saint-Pierre
Eynac.

Bull. Service de la carte géol. France, n° 13.

TERMIER P., 1890 -

Sur les séries d'éruptions du Mézenc et du Meygal et sur
l'existence de l'agirine dans les phonolites du Velay.

C.R. Acad. Sci. Paris, 31 Mars.

THELLIER E., 1936 -

Aimantation des briques et inclinaison du champ magnéti-
que terrestre.

Ann. IPG Paris, 14, p. 65-70.

THELLIER E., 1937 -

Sur l'aimantation dite permanente des basaltes.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 204, p. 876-879.

THELLIER E., 1937 -

Aimantation des terres cuites.

Application à la recherche de l'intensité du champ magné-
tique terrestre dans le passé.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 204, p. 184-186.

THELLIER E., 1938 -

Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques.

Thèse Paris, et ann. IPG 16, p. 157-302.

THELLIER E., 1941 -

Sur les propriétés de l'aimantation thermorémanente des terres cuites.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 213, p. 1019-1022.

THELLIER E., 1942 -

Recherche du champ magnétique terrestre dans le passé.

L'astronomie 56, p. 65-69, 89-93, 100-104.

THELLIER E., 1951 -

Propriétés magnétiques des terres cuites et des roches.

Rapport au colloque sur le ferromagnétisme et l'antiferromagnétisme, Grenoble.

J. de Phys. n° 3, 12, p. 205-218.

THELLIER E., 1963 -

Manteau supérieur et paléomagnétisme.

XIIIème Assemblée de l'U.G.G.I., Berkeley.

THELLIER E., 1967 -

Methods of sample collection and orientation for archaeomagnetism; in Methods in Paleomagnetism-NATO Advanced Study Inst. on Paleomagnetic Methods, Univ. Newcastle upon Tyne, 1964, Proc.

New-York, American Elsevier Publishing Co., p. 16-20.

THELLIER E., 1967 -

Thermal demagnetization apparatus at Paris, in Methods in paleomagnetism-NATO Advanced Study Inst. on Paleomagnetic Methods, Univ. Newcastle upon Tyne, 1964, Proc.

New-York, American Elsevier Publishing Co., p. 299-300.

THELLIER E., 1967 -

The astatic magnetometer constructed in Paris, in
Methods in paleomagnetism-NATO Advanced Study Inst. on
Paleomagnetic Methods Univ. Newcastle upon Tyne, 1964,
Proc.

New-York, American Elsevier Publishing Co., p. 75-76.

THELLIER E., 1967 -

A "big sample" spinner magnetometer, in Methods in
paleomagnetism-NATO Advanced study Inst. on paleomagnetic
Methods, Univ. Newcastle upon Tyne, 1964, Proc.

New-York, American Elsevier Publishing Co., p. 149-154.

THELLIER E., RIMBERT F., 1954 -

Sur l'analyse d'aimantations fossiles par action de champs
magnétiques alternatifs.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 239, p. 1399-1401.

THELLIER E., RIMBERT F., 1955 -

Sur l'utilisation en paléomagnétisme de la désaimantation
par champs alternatifs.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 240, p. 1404-1406.

THELLIER E., THELLIER O., 1941 -

Sur les variations thermiques de l'aimantation thermore-
manentes des terres cuites.

C.R. Acad. Sci. Paris, t. 213, p. 59-61.

THELLIER E., THELLIER O., 1944 -

Recherches géomagnétiques sur des coulées volcaniques
d'Auvergne.

Ann. de géophys. I, p. 37-52.

TOURNAIRE, 1870 -

Note sur la constitution géologique du département de
la Haute-Loire et sur les révolutions dont ce pays a été
le théâtre.

Bull. Soc. Géol. de France, 2e série, t. XXVI, p. 1106.

TOURNAIRE, 1880 -

Carte géologique du département de la Haute-Loire au
1/80.000°.

VAN DER VOO R.,

Jurassic, Cretaceous and Eocene pole positions from nor-
theastern Turkey.

Tectonophysics, v. 6, n° 3, p. 251-269.

VAN DER VOO R., 1967 -

The rotation of Spain ; paleomagnetic evidence from the
spanish meseta.

Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol. 3, p. 393-416.

VAN DER VOO R., 1967 -

The rotation of Spain paleomagnetic evidence from the
Spanish Meseta.

Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol., v. 3, n° 4,
p. 393-416.

VAN DER VOO R., 1968 -

Paleomagnetism and the Alpine tectonics of Eurasia.

IV. Jurassic, Cretaceous and Eocene pole positions
from northeastern Turkey. (Le paleomagnetisme et la
tectonique alpine de l'Eurasie. IV. Positions du pôle
au Jurassique, au Crétacé et à l'Eocène d'après le NE
de la Turquie).

Tectonophysics, Netherl., 6, n° 3, p. 251-269.

VAN DER VOO R., 1969 -

Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian
peninsula.

Tectonophysics, v. 7, n° 1, Janvier, p. 5-56.

VAN DER VOO R., ZIJDERVELD J.D.A., 1969 -

Paleomagnetism in the western Mediterranean Area.

Verhandelingen. Kon. NED. Geol. M IJNBOUWK gen vol. XXXVI.

VAN DONGEN P.G., 1967 -

The rotation of Spain paleomagnetic evidence from the eastern Pyrenees.

Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol. v. 3, n° 4, p. 417-432.

VAN DONGEN P.G., VAN DER VOO R., RAVEN Th., 1967 -

Paleomagnetism and the Alpine tectonics of Eurasia III.

Paleomagnetic research in the Central Lebanon Mountains and in the Tartous Area (Syria).

Tectonophysics, 4 (1), p. 35-53.

VAN HILTEN D., 1964 -

Evaluation of some geotectonic hypotheses by paleomagnetism.

Tectonophysics 1, p. 3-71.

VIGNERON M., 1965 -

Etude paléomagnétique des dykes et coulées de la région du Mont-Dore.

D.E.S. Paris.

WATKINS N.D., RICHARDSON A., 1968 -

Reply by the authors to comments on "Paleomagnetism of the Lisbon Volcanics" by Van der Voo Geophys. J.R. Ast. Soc.

16, p. 549-551.

ZBYSZEWSKI G., 1958 -

Etude structurale de l'Aire Typhonique de Caldas da Rainha (Portugal).

Thèse Paris.

ZELLER C., 1968 -

Contribution à l'étude des phases à structures spinelle responsables du ferrimagnétisme des roches volcaniques.

Application aux laves de l'Etna I. II.

Thèse Doct. Sc. Phys. Nancy.

ZIJDERVELD J.D.A., 1967 -

A.C. demagnetization of rocks-analysis of results, in
Methods in paleomagnetism-NATO Advanced Study Inst. on
Paleomagnetic Methods, Univ. Newcastle upon Tyne, 1964,
Proc.

New-York, American Elsevier Publishing Co., p. 254-286.

ZIJDERVELD J.D.A., DEJONG K.A., VAN DER VOO R., 1970 -

Rotation of Sardinia : Paleomagnetic evidence from
permian rocks.

Nature vol. 226 N° 5249, p. 933-934

Additif

LETOLLE R., 1967 -

Les laves du Mont Dore - Recherches sur la géochimie
et la genèse des magmas - Thèse - Paris.

GROMME C.S., HAY R.L., 1971 -

Geomagnetic polarity Epochs : Age and duration of the
Olduvaï normal polarity Event.

Earth and Planetary science letters, 10, p. 179-185.

RITTMANN A., 1963 -

Les volcans et leur activité. Edition française.

1 vol., 461 Pages, 183 Figures. Masson et Cie, Editeurs.
Paris.

TABLE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1 . Schéma du cycle d'hystérésis	14
Fig. 2 . Définition de l'inclinaison I et de la déclinaison D.	34
Fig. 3 . Détermination du point de prélèvement.	36
Fig. 4 . Schéma de l'Inductomètre à rotation Thellier	39
Fig. 5 . Détermination de M, I et D à partir du trièdre de mesure.	40
Fig. 6 . Test graphique d'apparition d'A.R.A.	46
Fig. 7 . Courbes de désaimantation d'A.R.I. et d'A.T.R. (selon F. RIMBERT)	55
Fig. 8 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 6V 20-30	59
Fig. 9 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 6V 20-27	60
Fig. 10 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 6V 20-22	61
Fig. 11 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 6V 20-24	62
Fig. 12 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 6V 18-29	63
Fig. 13 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 65 AC 09	64
Fig. 14 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 10 H 07	65
Fig. 15 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 05 H 07	66
Fig. 16 . Courbes de désaimantation de l'échantillon 13 HO7	67
Fig. 17 . Courbes de désaimantation- site 109 - - secteur de Murols -	71
Fig. 18 . Courbes de désaimantation-site 21 b- - Banne d'Ordanche -	73
Fig. 19 . Courbes de désaimantation-site 15 b- - Banne d'Ordanche -	75
Fig. 20 . Courbes de désaimantation-site 15 a- - Banne d'Ordanche -	77
Fig. 21 . Courbes de désaimantation-site 48 - - Massif du Sancy -	79

		Pages
Fig.	22 . Courbes de désaimantation - site 11 - - Banne d'Ordanche -	81
Fig.	23 . Courbes de désaimantation - site 50 - - Massif du Sancy -	83
Fig.	24 . Courbes de désaimantation - site 74 - - Massif du Sancy -	85
Fig.	25 . Courbes de désaimantation - site 114 - - Secteur du Murols -	87
Fig.	26 . Courbes de désaimantation - site 71 - - Massif du Sancy -	89
Fig.	27 . Courbes de désaimantation - site 101 - - secteur de Murols -	91
Fig.	28 . Courbes de désaimantation - site 116 - - secteur de Murols -	93
Fig.	29 . Courbes de désaimantation - site 14 - - Banne d'Ordanche -	95
Fig.	30 . Courbes de désaimantation - site 100 - - secteur de Murols -	97
Fig.	31 . Courbes de désaimantation - site 102 - - secteur de Murols -	99
Fig.	32 . Courbes de désaimantation - site 115 - F - secteur de Murols -	101
Fig.	33 . Courbes de désaimantation - site 103 - - secteur de Murols -	103
Fig.	34 . Courbes de désaimantation - site 104 - - secteur de Murols -	105
Fig.	35 . Courbes de désaimantation - site 113 - - secteur de Murols -	107
Fig.	36 . Courbes de désaimantation - site 106 - - secteur de Murols -	109
Fig.	37 . Courbes de désaimantation - site 105 -	111
Fig.	38 . Courbes de désaimantation - site 10 - - Banne d'Ordanche -	113
Fig.	39 . Courbes de désaimantation - site 107 - - secteur de Murols -	115
Fig.	40 . Courbes de désaimantation - site 12 - - Banne d'Ordanche -	117
Fig.	41 . Courbes de désaimantation - site 72 - - Massif du Sancy -	119
Fig.	42 . Courbes de désaimantation - site 43 - Massif du Sancy -	121

Pages

Fig.	43 .	Courbes de désaimantation - site A ₃ - - Massif du Devès -	123
Fig.	44 .	Courbes de désaimantation - site - Massif du Sancy -	125
Fig.	45 .	Courbes de désaimantation - site 108 - - Secteur de Murols -	127
Fig.	46 .	Courbes de désaimantation - site A ₄ - - Devès -	129
Fig.	47 .	Courbes de désaimantation - site A ₁ - - Devès -	131
Fig.	48 .	Courbes de désaimantation - site B ₁ - - Devès -	133
Fig.	49 .	Courbes de désaimantation - - dans le Massif du Sancy -	135
Fig.	50 .	Courbes de désaimantation - site 20 - - Banne d'Ordanche -	137
Fig.	51 .	Courbes de désaimantation - site 73 - - Massif du Sancy -	139
Fig.	52 .	Courbes de désaimantation - site A ₂ - - Devès -	141
Fig.	53 .	Courbes de désaimantation - Site 69 - - Massif du Sancy -	143
Fig.	54 .	Courbes de désaimantation - site A ₅ - - Devès -	145
Fig.	55A.	Grandes structures volcanotectoniques du Massif central.	148
Fig.	55 .	Carte structurale du Velay.	152
Fig.	55C.	Position des coupes paléomagnétiques dans le Massif du Mezenc.	158
Fig.	56A.	Panorama du Flanc Sud de la Montagne de Chaulet	159
Fig.	56 .	Coupes synthétiques - Flanc sud des Rochers de Cuzet.	161
Fig.	57 .	Légende des coupes stratigraphiques	163
Fig.	58 .	Coupe synthétique du Flanc Nord des Ro- chers de Cuzet.	166
Fig.	59 .	Coupe synthétique du Flanc Est du Mezenc.	169
Fig.	60 .	De Chanal à Médille - coupe de la côte 1381.	171

	Pages
Fig. 61 . Coupes synthétiques de Vahille, Le Mazet et St. Clément.	176
Fig. 62 . Coupe géologique simplifiée de Chaudey- rolles à St. Clément.	176
Fig. 63 . Coupe transversale du Mazet à l'Herm	177
Fig. 64 . Carte sommaire du Secteur "Les Vastres- Villelonge"	179
Fig. 65 . Coupe synthétique du croisement D 26 - N 500	181
Fig. 66 . Coupe synthétique de la série de Crosdo	184
Fig. 67 . Coupe Hugans - Le Clauzelles	188
Fig. 68 . Coupe synthétique de la série du Clauzelles	191
Fig. 69 . Courbes de désaimantation des échantil- lons 64 VD 17 -18 - 19	193
Fig. 70 . 64 VD 12 et 14	195
Fig. 71 . 64 VD 13 - 15 et 16	197
Fig. 72 . Coupe synthétique du Crouzet à Soutour	199
Fig. 73 . Courbes de désaimantation de l'échantil- lon 64 VD 25	201
Fig. 74 . Coupe synthétique - Les Vastres-Le Monteil	204
Fig. 75 . Coupe synthétique - Vellelonge-Les Cha- gneaux	207
Fig. 76 . Coupe schématique de Crosdo à le Clauzelles	210
Fig. 77 . Coupe schématique de Gréaux à Villelonge	211
Fig. 78 . Coupe entre les Vastres et Crosdo	215
Fig. 79 . Coupe du Croisement N 500 - D 26 au Cirque de Clauzelles	216
Fig. 80 . Diagramme des directions d'aimantation du secteur des Vastres	218
Fig. 81 . Position des prélèvements dans le Secteur Champagnac - Champclause	224
Fig. 81(bis) Courbes de désaimantation des Echantil- lons 64 E (13-14-15)	228
Fig. 82 . Coupe synthétique de Champagnac aux Merles	232
Fig. 83 . Coupe synthétique de Fournourette à Chaud de la Croix	233
Fig. 83(bis) Courbes de désaimantation des échantil- lons 64 VE (30-31- 32-33)	235
Fig. 84 . Coupe synthétique de Ourbe à Champclause	238

pages

Fig.	85 .	Diagramme des directions d'aimantation du secteur Champagnac - Champclause	240
Fig.	86 .	Carte topographique du Massif du Lizieux avec position des coupes paléomagnétiques	243
Fig.	87 .	Coupe synthétique du Flanc Sud-Est du Lizieux	244
Fig.	88 .	Coupe synthétique du Flanc Nord Ouest du Lizieux.	249
Fig.	89 .	Diagramme des directions d'aimantation du Massif du Lizieux.	256
Fig.	90 .	Carte topographique de la vallée de l'Au-ze et de la vallée de Bellecombe	258
Fig.	91 .	Coupes de la Montagne d'Araules	259
Fig.	92 .	Coupe synthétique d'Araules	261
Fig.	92 .	(bis) Courbes de désaimantation des échantil- lons B 45 - 46 - 49 -	263
Fig.	93 .	Coupe synthétique de Salce	266
Fig.	94 .	Coupe synthétique de Recharinges	270
Fig.	95 .	Directions d'aimantation des laves de la rive gauche de la Vallée de l'Auze.	271
Fig.	96 .	Carte topographique de la Vallée de l'Au-ze et de la vallée de Bellecombe.	273
Fig.	97 .	Coupe synthétique de Bellecombe	275
Fig.	97 .	(bis) Courbes de désaimantation des échantil- lons C 29 à C 33.	278
Fig.	98 .	Directions d'aimantation des laves du Ruisseau de Bellecombe.	280
Fig.	99 .	Carte topographique du N-W du Massif du Meygal	283
Fig.	100 .	Coupe synthétique de Chazeaux au Bois des Dames	284
Fig.	101 .	Directions d'aimantation du Ruisseau de Ramel	286
Fig.	102 .	Coupe transversale de Roucoules au Mt. Chanis.	288
Fig.	102 (bis)	Coupe transversale de Raffy au Col de la Jame.	289
Fig.	103 .	Coupe synthétique de Queyrières au	

	Pages
Fig. 104 . Coupe synthétique de la série de Raffy	298
Fig. 105 . " " " Monedeyres Le Meygal	302
Fig. 106 . Directions d'aimantations de la Série MontChanis - Queyrières	304
Fig. 106 b . Directions d'aimantations des Séries de Raffy et de Monedeyres	305
Fig. 107 . Carte topographique des Vallées de l'Aubépin et de la Gazeille	307
Fig. 108 . Coupe du Plateau de Bournac	308
Fig. 109 . Panorama interprétatif de la photo 12	314
Fig. 110 . Coupes synthétiques dans la Vallée de l'Aubépin	315
Fig. 110(bis) Courbes de désaimantation des échantil- lons 6 V 13 à 17	318
Fig. 111 . Directions d'aimantations du Flanc Sud-Ouest du Plateau des Sanniaux	324
Fig. 111 b . Directions d'aimantations des laves entre Machabert et St. Front	325
Fig. 112 . Coupe synthétique de la Série de la Vallée de la Vallée de la Gazeille.	334
Fig. 113 . Coupe synthétique du Massif de Bonne- foy.	336
Fig. 114 . Répartition des coupes paléomagnéti- ques dans le Massif du Mezenc.	346
Fig. 115 A . Corrélations des coupes paléomagné- tiques de Queyrières à St. Clément.	351
Fig. 115 B . Corrélations des coupes paléomagné- tiques de Bournac au Mezenc.	357
Fig. 116 . Les remblaiements Villafranchiens du Bassin du Puy	364
Fig. 117 . Carte géologique schématique de la zone étudiée dans le Devès	366
Fig. 118 . Coupe du Vallon de Dolaison au Crozas	368
Fig. 119 . Directions d'aimantation des laves du Devès	382
Fig. 120 . Carte géologique du Mont Dore	386
Fig. 121 . Structures volcanotectoniques dans le Mont Dore	390

Fig.	122	. Les principaux édifices volcaniques près du Mont Dore	392
Fig.	123	. Position des prélèvements dans les volcans du Sancy et de la Banne d'Ordanche.	394
Fig.	123(bis)	Position des séries volcaniques étudiées dans le volcan du Sancy	395
Fig.	124	. Directions d'aimantation des sites 43 et 44.	400
Fig.	125	. Directions des sites 84-85-91 - Doréites du Plateau de l'Angle	401
Fig.	126	. Directions des coulées de Doréites allant du Col de Cuzeau à la Carrière de Sarrevielle	403
Fig.	127	Directions des sancyites entre le Roc de Cuzeau et les Monaux	404
Fig.	128	. Diagramme des directions d'aimantations des coulées inverses du Massif du Sancy	409
Fig.	129	. Répartition des directions des aimantations normales du Massif du Sancy	416
Fig.	130	. Diagramme des directions d'aimantation de la Série Rigolets - Route de la Tour -	420
Fig.	131	. Diagramme des directions d'aimantation de la série du Plateau de l'Angle.	421
Fig.	132	. Diagramme des directions d'aimantation de la série des Egravats et de la Grande Cascade.	424
Fig.	133	. Diagramme des directions d'aimantation de la série Edembouches - Col de Cuzeau	425
Fig.	134	. Coupe géologique du Ravin des Egravats	426
Fig.	135	. Diagramme des directions d'aimantation de la série des Monaux à Cuzeau	432
Fig.	136	. Structure du Puy de Cliergues	436
Fig.	137	. Diagramme des directions d'aimantation de la série du Cliergues	438
Fig.	138	. Répartition des directions des aimantations dans le volcan de la Banne d'Ordanche	450
Fig.	140	. Position des prélèvements dans la Région de Murols	467
Fig.	141	. Diagramme des directions d'aimantation des coulées de la région de Murols	468
Fig.	142	. Essai de chronologie du quaternaire	478

		Pages
Fig. 143	. Schéma géologique du Logoduro	484
Fig. 144	. Direction moyenne des aimantations de Sardaigne	486
Fig. 145	. Carte géologique de la région d'Herbillon	497
Fig. 146	. Courbes de désaimantation du site H 13 (O1 -O2 - O3)	500
Fig. 147	. Courbes de désaimantation du site H 13 (O4-O5-O6).	501
Fig. 148	. Courbes de désaimantation du site H 13 (O7 à 10)	503
Fig. 149	. Courbes de désaimantation du site H 13 (11 à 16)	505
Fig. 149 (bis)	. Esquisse géologique du Flanc Est du Kef El Gourou	506
Fig. 150	. Courbes de désaimantation ₆ -Ech.H13/12	507
Fig. 151	. " " " du site H ₈ (O1-O2-O3)	509
Fig. 152	. " " " du site H ₈ (O4-O6)	510
Fig. 153	. " " " du site H ₈ (O7-O9)	511
Fig. 154	. " " " du site H ₈ (10-12)	512
Fig. 155	. " " " du site H ₈ (13-15)	513
Fig. 156	. " " " du site H ₈ (16-18)	514
Fig. 157	. " " " du site H ₈ (19-21)	516
Fig. 158	. " " " du site H ₈ (25-30)	517
Fig. 159	. Courbes de désaimantation des diorites sites - O7 - O8 et O1	519
Fig. 160	. Courbes de désaimantation des diorites sites - O3 et O9	520
Fig. 161	. Carte géologique des environs de Sidi Bou Fernana	524
Fig. 162	. Courbes de désaimantation du site H11 (O1 - O2)	525
Fig. 163	. Coupes géologiques montrant la structure du Cap de Fer	529
Fig. 164	. Courbes de désaimantation des échantillons AF 17 (O9 - 11) et AF 17 (12-15)	534
Fig. 165	. Localisation des prélèvements paléomagnétiques dans le Massif de Cavallo	538

		Pages
Fig.	166 . Directions d'aimantations des sites A et B de Cavallo	543
Fig.	167 . Courbes de désaimantation des sites A11 - A13 et A 6	545
Fig.	168 . Courbes de désaimantation des sites A6	547
Fig.	169 . Courbes de désaimantation des sites B7	550
Fig.	170 . Courbes de désaimantation des sites B2	552
Fig.	171 . Directions d'aimantation des sites C de Cavallo	554
Fig.	172 . Courbes de désaimantation des sites C ₃	555
Fig.	173 . Courbes de désaimantation site C ₃ (suite)	556
Fig.	174 . Courbes de désaimantation des sites C1 et C2	557
Fig.	175 . Courbes de désaimantation du site C5	558
Fig.	176 . Courbes de désaimantation du site C4	559
Fig.	177 . Courbes de désaimantation échantillon C25 -37	560
Fig.	178 . Courbes de désaimantation échantillon C25-42	562
Fig.	180 . Carte topographie des zones étudiées au Mexique	572
Fig.	181 . Carte géologique de la région de Pachuca.	574
Fig.	182 . Echelle stratigraphique des formations volcaniques de Pachuca	575
Fig.	183 . Plan de position de la mission Amazone.	589
Fig.	184 . Position des coupes réalisées dans le Canal de Sardaigne par la Station de Geodynamique sous marine de Villefranche sur mer.	590

TABLE DES PHOTOGRAPHIES

=====

	Pages
Photo. N° 1 . Photographies d'échantillons bruts	32
N° 2 . Echantillon sous cube de plâtre	32
N° 3 . Appareil à désaimanter	44
N° 4 . Appareil tournant en champ nul	48
N° 5 . Les coulées du Devès dans la Vallée de l'Allier	152
N° 6 . La rive gauche du ravin du Dolaison	152
N° 7 . La rive droite du Lignon vue depuis Faye-sur-Lignon	213
N° 8 . La rive gauche du Lignon vue depuis le plateau des Vastres	223
N° 9 . Panorama de la Chaud de la Croix à Fournourette	241
N° 10 . Panorama de la Vallée de l'Auze depuis Pialeviales	252
N° 11 . La vallée de l'Aubépin vue depuis le Plateau de Moudeyres	309
N° 12 . Le flanc Sud-Ouest du Plateau des Sanniaux	312
N° 13 . La nappe de brèches basanitiques et sa couverture basaltique sur la rive gauche du ravin du Dolaison.	370
N° 14 . Base de la série volcanique près de Monistrol d'Allier	375
N° 15 . Versant occidental du Devès - série F SITE F 8	375
N° 16 . Versant occidental du Devès - série F - site F 13	379
N° 17 . Le ravin des Egravats vu depuis le pied du Cliergues	428

Photo.	N° 18	.	La série du Cliergues- Vue du pied du Sancy	435
	N° 19	.	Le Flanc Sud Ouest de la Banne d'Ordanche	445
	N° 20	.	La semelle du laccolithe, de micro- granite II - Flanc occidental du rocher du Cap de Fer	530
	N° 21	.	Un sill de microdiorite au Nord de l'Abreuvoir du Cap de Fer	531
	N° 22	.	Butte témoin de basalte - Mesa de la HUASTE LA	579
	N° 23	.	Coupe C1 au Nord de Bône	592
	N° 24	.	Coupe A3 - Mission Amazone	593
	N° 24 (bis)	.	Détails de la coupe A3	594
	N° 25	.	Coupe G. III du Canal de Sardaigne	594
	N° 26	.	Coupe A1 - Est du Cap Caccia	598

- TABLE des MATIERES -

TOME I

- AVANT PROPOS -

1 - 3

CHAPITRE I

ORIGINE ET SIGNIFICATION DE LA PROPRIETE ETUDIEE.

TECHNIQUES UTILISEES 5

A - SIGNIFICATION PHYSIQUE DU CARACTERE UTILISE 6

Introduction : La position du géologue
vis à vis des phénomènes magnétiques 6

I) L'origine des Propriétés magnétiques
de la matière 7

1) Les propriétés magnétiques de l'atome 7

2) Application d'un champ magnétique
sur un électron, une particule élémentaire 8

a) Le diamagnétisme de l'atome isolé 9

b) Le paramagnétisme des atomes libres 9

3) De l'atome au cristal
a) Action d'un champ sur une substance
quelconque 10

b) La signification des composés diamagnétiques 11

c) La signification des composés paramagnétiques 12

II) Les phénomènes magnétiques dans l'Etat
solide 13

a) Aimantation induite et aimantation
rémanente 15

b) Cycle d'hystérésis et aimantation
rémanente isotherme 15

L'origine des aimantations rémanentes

ferromagnétiques; les domaines de Weiss 15

Ferrimagnétisme et antiferromagnétisme 17

c) Le traînage magnétique	18
d) les propriétés magnétiques des grains fins. Temps de relaxation et aimantation thermorémanente	19
III) Les principales propriétés magnétiques des roches éruptives	20
1) Aimantation thermorémanente ATR	21
2) Instabilité de l'aimantation de certaines roches	23
3) Aimantations rémanentes acquises à température constante	23
. Aimantation rémanente d'hystérésis = Aimantation rémanente isotherme (ARI)	23
. Traînage magnétique et aimantation rémanente visqueuse (ARV)	24
. Aimantation rémanente anystérétique (ARA)	25
4) Aimantation rémanente chimique (ARC)	25
5) Aimantation piezorémanente	26
IV) De l'aimantation thermorémanente à l'Histoire du champ terrestre dans le passé	27
B - <u>TECHNIQUES UTILISEES.</u>	31
Les raisons d'un choix	31
I) La technique de prélèvement	33
1) La prise d'échantillon	33
2) Orientation des échantillons	33
3) Préparation des échantillons pour la mesure	37
4) Remarques sur le choix des échantillons dans les sites	37
II) Mesure et analyse des aimantations	38
1) La mesure des aimantations	38
. Principe de l'appareil	38

. Précision de la mesure et précautions prises	41
2) L'analyse des aimantations	45
3) Tests de viscosité	50
III) Traitement et interprétation des mesures	
Conclusion : Exemples d'Interprétation des résultats	57
a) Etude de courbes issues du traceur Benson	57
b) Etude de courbes construites pour les échantillons d'un site	69

CHAPITRE II

CORRELATIONS AUX ECHELLES LOCALES, REGIONALE ET MONDIALE

LE MASSIF CENTRAL FRANÇAIS

INTRODUCTION	150
<u>LE VELAY</u>	151
Situation générale	151
Rappel historique	154
<u>A - LE COMPLEXE MEZENC - MEYGAL</u>	157
I) Le versant Oriental du Complexe Mezenc-Meygal.	157
1) Rochers de Cuzet	157
a) Flanc Sud	157
b) Flanc Nord	165
c) Comparaison des résultats	165
2) Le flanc Est du pic du Mezenc	168
a) Cirque des Boutières	168
α) Description sommaire de la série	168
β) Comparaison avec les Rochers de Cuzet	168

b) Cirques Septentrionaux	170
α) Le cirque de Médille	170
β) Le Cirque de Chanal	172
3) La Série de St-Clément	172
a) Description géologique	172
b) Caractères magnétiques	172
c) Conclusions	174
α) La série de St-Clément repose sur une surface voisine de 1000m	174
β) L'éperon rocheux du Mazel ne se raccorde pas à cette surface	174
γ) Existence d'une surface d'érosion à 1200 m.	175
δ) Conclusion	178
4) Le secteur des Vastres	178
a) Données générales	178
b) Les affleurements de la D 26	180
α) Croisement D 26 - N 500	180
β) La série de Crosdo	183
γ) Conclusion	186
c) Le cirque de Clauzelles	189
α) Les données géologiques	189
β) Les données magnétiques	192
d) Le cirque de Crouzet	196
α) Les données géologiques	196
β) Les données magnétiques	198
e) Le secteur des Vastres à Villelounge et Hugans	202
α) Coupe au niveau du village des Vastres	203
β) Du Monteil à Hugans	206
γ) Des Chagneaux à Villelonge	206

b) Le flanc Nord-Ouest : la rive droite	248
de la Vallée de l'Auze	248
α) La série inférieure entre St-	
Jeures et le Suc de Mounier	
Coupes stratigraphiques	
. série près du hameau de Chevalier	248
. série de la ferme de la Bruyère	250
Caractères magnétiques	
. Les basaltes à phénocristaux	250
β) La phonolite du Suc de Mounier	251
c) Conclusion	255
7) Entre Meygal et Lizieux :	257
La vallée de l'Auze	
a) La région d'Araules	257
α) Données géologiques	257
β) Données magnétiques	260
L'aimantation des phonolites	260
- coulée reposant sur le granite	
au N.E. du village	260
- Suc d'Araules et pointement pro-	
che de l'ancien chemin de Courcoules	262
Aimantation des basaltes	264
b) La vallée de Recharringes de Salces à la	
Chaud de Carle	265
α) La série de Salces	265
β) Les basaltes semi-porphyroïdes et la	
phonolite de la Chaud de Carle	268
Données géologiques	268
Analyse magnétique	268
γ) De la Chaud de Carle à Régnier	269
δ) Conclusion	272

c) Le ruisseau de Bellecombe	272
α) Les données géologiques	274
β) Données magnétiques	274
γ) Conclusion	279
II) Le versant occidental du complexe Mezenc-Meygal	282
1) L'extrémité Nord-Nord-Ouest du Massif du Meygal	282
a) La Haute-Vallée du ruisseau de Ramel entre les hameaux de Chazeaux et Monibrand	282
b) La vallée de Queyrières : la haute vallée du ruisseau de Sumène	287
α) La série inférieure rencontrée entre Mont-Chanis et Queyrières présente une aimantation normale uniforme	290
β) La série de Raffy à aimantation inverse	296
γ) La série entre Monedeyres et le Meygal	299
δ) Conclusion	303
c) La vallée de l'Aubépin entre St-Front et Bournac	306
α) Stratigraphie et direction d'aimantation des coulées étudiées	310
β) Les données pétrographiques	326
γ) Conclusion	329
d) Une coupe le long de la vallée de la Gazeille	333
e) La structure du Massif de Bonnefoy	335

III) La synthèse des résultats	339
1) Les subdivisions magnétiques des ensembles pétrographiques et leur répartition géographique	339
a) Les phonolites	339
b) Les basaltes semi-porphyroïdes	340
c) Les basaltes compacts et les basaltes porphyroïdes	341
d) Les trachytes	344
e) Les andésites et andésilabradorites	345
f) Conclusion	347
2) Stratigraphie des parties Nord et Est du Complexe Mezenc-Meygal	347
a) Chronologie relative	347
b) Essai de chronologie absolue	350
3) Stratigraphie des versants Sud et Sud Ouest du Complexe Mezenc-Meygal	354
a) Chronologie relative	354
b) Essai de chronologie absolue	356
4) Conclusion	359

B - LE MASSIF DU DEVES

I) Les objectifs poursuivis	365
II) Le Versant Oriental	368
1) Une coupe sur le flanc gauche de la vallée du Dolaizon près du hameau de Crozas.	368
2) Le Versant Nord Ouest du Mont Rose : Une coupe le long de la N 589	371
3) Conclusion	372

II) Le Versant Occidental de la Chaîne du Devès	376
1) La série de base	376
2) La série moyenne	378
3) La série supérieure	380
4) Résumé	380
III) Corrélations entre les deux versants :	381
Essai de chronologie absolue	

- LE MASSIF DU SANCY ET SES ABORDS - 385

Introduction :	385
----------------	-----

A - LA FOSSE VOLCANOTECTONIQUE DE LA BOURBOULE LE MONT DORE

I) Le volcan du Sancy	393
1) Nouvelles données	393
2) Données anciennes	398
3) Comparaison des données anciennes et nouvelles	398
a) Reconnaissance des grandes coulées	398
α) Andésites de la route de la Tour	398
β) Les doréites de la Carrière dite des Moulins et les doréites des Rigolets Hauts.	399
γ) La coulée de doréite allant du Roc de Cuzeau à la carrière de Sarrevieille	402
δ) Extension de la coulée de tracy-andésites des Monaux	402
b) Essai de stratigraphie	405
α) Remarques générales	405
β) Comparaison des formations à aimantation inverse	408

γ) Comparaison des formations à aimantation normale.	417
- groupe à forte inclinaison	417
- existence d'un groupe à faible inclinaison	418
- les formations pour lesquelles $40^{\circ} < I < 70^{\circ}$	418
+ comparaison des flancs oriental et occidental de la Vallée de la Dore, au niveau du Mont Dore.	419
+ La partie amont du flanc oriental de la vallée de la Dore	423
+ comparaison de la série du Col de Cuzeau avec celles du plateau de l'Angle et de la Tour-Rigolets	431
+ comparaison des versants oriental et occidental de la vallée de la Dore à l'amont du Mont Dore	434
+ Autres résultats	440
4) Conclusion à l'étude du volcan du Sancy : un essai de Chronologie	441
II) Les volcans de la Banne d'Ordanche et de l'Aiguiller.	444
1) Répartition géographique des aimantations inverses et normales	444
a) Les flancs occidental et méridional de la Banne d'Ordanche	444
b) Le flanc oriental de la Banne d'Ordanche et le volcan de l'Aiguiller.	448
2) Analyse des directions d'aimantation : recherche de phases d'activité majeures.	449
a) Répartition des directions des aimantations inverses	449
b) Répartition des directions des aimantations normales.	458
3) Conclusion à l'étude des volcans de l'Aiguiller et de la Banne d'Ordanche.	464

B - LE FLANC ORIENTAL DU MASSIF DU SANCY - LA REGION DE MUROLS

I - L'ensemble à aimantation normale	469
II - Les ensembles à aimantation inverse	474
1) Groupe à inclinaison moyenne	474
2) Groupe à forte inclinaison	475
III) Conclusion	475
Conclusion à l'étude du Massif Central	477
TOME II	
CHAPITRE III	481

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DU BASSIN MEDITERRANEEN AU TERTIAIRE.

INTRODUCTION	482
--------------	-----

DONNEES PALEOMAGNETIQUES RECUEILLIES DANS LE DOMAINE MEDITERRANEEN ET AU MEXIQUE.

485

A - LA SARDAIGNE

485

Introduction	485
--------------	-----

I) Le cycle ante-helvétien	489
II) Le cycle post-tortonien	493

B - LE LITTORAL NORD CONSTANTINOIS

495

I) Du Cap Takouch au Cap de Fer.	495
1) La région d'Herbillon-Chaïtabi	498
a) Groupe andésitique	498
b) Groupe dioritique	518
α) Comportement des aimantations	518
β) Répartition géographique des types d'aimantation	521
γ) Essai de conclusion	521

c) Groupe microgranitique	523
α) Microgranitique II du Djebel Mzilha	523
β) Des microgranites près du Marabout de sidi - Bou Fernana	523
d) Synthèse des résultats	524
2) Le Cap de Fer (sensu stricto)	527
3) Résumé.	533
II) La Kabylie de Collo et le Massif de Cavallo	536
1) Kabylie de Collo	536
2) Massif de Cavallo	536
a) Les sites A ₁ à A ₁₇	544
b) Les sites B ₁ à B ₈	549
c) Les sites C ₁ à C ₁₀	553
Conclusions	563
III) Comparaison des résultats à l'échelle du Nord Constantinois.	564
IV) Conclusion à l'étude du Nord Constantinois	568

D - LE MEXIQUE

573

I) Schéma géologique des zones étudiées	573
Résultats paléomagnétiques	577
II) Conclusion - Comparaison .	

<u>Rappel de quelques données océanographiques</u>	587
--	-----

1) Enregistrements au voisinage de la Sardaigne	588
2) Interprétations	595

<u>Comparaison des données paléomagnétiques et océanographiques</u>	600
---	-----

	Pages
. Bibliographie	609
. Table des Figures	635
. Table des Photographies	645
. Table des Matières	647

=====

PERMIS D'IMPRIMER

DOCTORAT : ES SCIENCES

THESE DE : SCIENCES NATURELLES

NOM : BOBIER

Prénoms : CLAUDE

né le 18 MARS 1934 à SAINT-ETIENNE Loire Dép^t :

1^{ère} THESE : Contribution du paléomagnétisme à l'étude géodynamique des volcans du Massif Central français, d'Algérie Nord-orientale et du Mexique.

2^e THESE (Propositions faites par l'Université) :



Vu et Approuvé

PARIS, le 19 Novembre 71

Le Président

de l'Université de PARIS VI

A. HERPIN

A handwritten signature in dark ink, appearing to be "A. Herpin", written over the printed name.

